

Copyright ©

Es gilt deutsches Urheberrecht.

Das Werk bzw. der Inhalt darf zum eigenen Gebrauch kostenfrei heruntergeladen, konsumiert, gespeichert oder ausgedruckt, aber nicht im Internet bereitgestellt oder an Außenstehende weitergegeben werden ohne die schriftliche Einwilligung des Urheberrechtsinhabers. Es ist nicht gestattet, Kopien oder gedruckte Fassungen der freien Onlineversion zu veräußern.

German copyright law applies.

Copyright and Moral Rights for this thesis are retained by the author and/or other copyright owners. The work or content may be downloaded, consumed, stored or printed for your own use but it may not be distributed via the internet or passed on to external parties without the formal permission of the copyright holders. It is prohibited to take money for copies or printed versions of the free online version.

26. Okt. 1990

Z 945

66b

BERICHTE

aus dem

SONDERFORSCHUNGSBEREICH 313

"SEDIMENTATION IM EUROPÄISCHEN NORDMEER"



Nr. 24

Verfestigte Sedimentlagen und seismische
Reflektoren: Frühdiagenese und
Paläo-Ozeanographie in der Norwegischen See

HEIDEMARIE KASSENS

26. Okt. 1990

z 945

666

Ber. Sonderforschungsbereich 313, Univ. Kiel	Nr. 24	S. 1-117	01.06.1990
--	--------	----------	------------

Nr. 24

**Verfestigte Sedimentlagen und seismische Reflektoren: Frühdiagenese und
Paläo-Ozeanographie in der Norwegischen See**

Heidemarie Kassens



ZUSAMMENFASSUNG

Basierend auf sedimentologischen und sedimentphysikalischen Daten von 18 feinstratigraphisch datierten Sedimentkernen aus der Norwegischen See zeigen sich folgende wichtige Ergebnisse:

Gebunden an eine ästuarine Zirkulation in der Norwegischen See, die im Gegensatz zur heutigen antiästuarinen Strömung steht, zeigen diese spätquartären Sedimentprofile immer wieder außergewöhnlich hohe Scherfestigkeitswerte, welche die 'normale' Festigkeit bis um den Faktor 10 überschreiten. Diese Scherfestigkeitsmaxima können nicht durch konventionelle Sedimenteigenschaften, z.B. Korngrößenverteilung oder Gravitationskompaktion erklärt werden.

Aufnahmen mit dem Rasterelektronenmikroskop haben nachgewiesen, daß Zementation der Sedimente durch Silikat-Krusten eindeutig auf die verfestigten Lagen beschränkt ist und die eigentliche Ursache für die Scherfestigkeitsmaxima darstellt.

Diese lagenweise konzentrierten Zementationsvorgänge erfordern ein besonderes Angebot von SiO_2 im Porenwasser der Sedimente. Offenbar bestand ein solches Angebot in der frühen Eiszeit-Termination I und bei ähnlichen inter-kaltstadialen Abschmelzphasen sowie bei besonderen ozeanographischen Situationen in einigen Hochglazialen. Wir nehmen an, daß im Zusammenhang mit kräftigen Nordwinden es damals vor dem westlichen europäischen Kontinentalrand zu kurzfristigen Episoden von küstennahem Auftrieb kam, die zu hoher Diatomeenproduktion und dadurch zu großen Mengen von SiO_2 im Sediment führten. Diese erhöhten SiO_2 -Gehalte im Sediment verursachten dann über Silikat-Krusten die Sedimentverfestigung - die Scherfestigkeitsmaxima. Sie bewirken deutliche und engständige seismische Reflektoren und sind somit auch die Taktgeber für die Reflektorenfolge in hochauflösenden Echolotaufzeichnungen.

INHALTSVERZEICHNIS

EINLEITUNG.....	1
- Verfestigte Sedimenthorizonte in oberflächennahen Tiefseesedimenten.....	1
- Arbeitsgebiet Norwegische See.....	5
METHODEN.....	11
- Sedimentechographie.....	11
- Sedimentphysikalische und sedimentologische Messungen.....	14
- Rasterelektronenmikroskopie und Mikrosondenanalyse.....	19
- Stratigraphische Grundlagen.....	22
- Stratigraphische Korrelation von KAL- und GKG- Sedimentprofilen.....	22
ERGEBNISSE.....	24
- Sedimentprofile der Großkastengreifer (makroskopische Sedimentansprache).....	24
- Sedimentprofile der Kastenlote (makroskopische Sedimentansprache).....	24
- Sedimentakkumulationsraten zwischen dem Vøring-Plateau und Jan Mayen.....	28
- Regionale Verteilungsmuster der Scherfestigkeit in Oberflächensedimenten aus der Norwegischen See.....	30
- Vertikale Verteilungsmuster der Scherfestigkeit in Sedimentkernen aus der Norwegischen See.....	34
DISKUSSION: URSACHEN VON SCHERFESTIGKEITSMAXIMA IN SPÄTQUARTÄREN SEDIMENTEN AUS DER NORWEGISCHEN SEE.....	51
- Potentielle Steuerungsfaktoren der Scherfestigkeit.....	51

- Mögliche Entstehungsursachen von frühdiagentisch verfestigten Sedimentlagen in der Norwegischen See.....	62
- 1. Sedimentologisch-chemische Entstehungsmodelle.....	62
- 2. Paläo-ozeanographische Sonderfälle: Phasen von küstennahem Auftrieb am Ostrand der Norwegischen See.....	68
- Implikationen verfestigter Sedimentlagen: Seismische Reflektoren.....	74
 SCHLUßFOLGERUNGEN.....	81
 DANK.....	84
 LITERATUR.....	86
 ANHANG.....	98

EINLEITUNG

Verfestigte Lagen in oberflächennahen Tiefseesedimenten

Eine unerwartete Verteilung der Scherfestigkeit zeigen oberflächennahe pelagische und hemipelagische Sedimente aus dem Atlantik. Im Gegensatz zu normal konsolidierten Sedimenten, in denen die Scherfestigkeit mit der Teufe zunimmt, der Festigkeitsgrad also eine Funktion der Teufe und des Alters ist [u.a. Richards, 1962; Almagor, 1979], zeigen die oberflächennahen und stratigraphisch lückenlosen Sedimentprofile im Äquatorialen Atlantik und in der Norwegischen See zahlreiche Lagen mit extrem erhöhten Scherfestigkeiten [Kassens und Sarnthein, 1989]. Durch besonders hohe Scherfestigkeitswerte zeichnen sich dabei 2 cm bis 20 cm mächtige, häufig olivbraun laminierte Sedimenthorizonte aus der Norwegischen See aus. In Sedimentprofilen, die maximal ein Alter von 400.000 Jahren umfassen, treten solche Extremwerte für die Scherfestigkeit zwischen 7000 und 14.000 Jahren vor heute, im frühen Sauerstoffisotopenstadium 3, zu Beginn sowie am Ende von Stadium 6 und in den Stadien 6, 8, 9 und 10 auf. Dieses ungewöhnliche Verteilungsmuster der Scherfestigkeitamaxima ist gleichermaßen charakteristisch für 9 Sedimentprofile aus der Norwegischen See zwischen dem Vøring Plateau und Jan Mayen (Abb. 1).

Um den Festigkeitsgrad von tertiären Kalk-Mergel-Wechselagerungen des Pazifik (DSDP Site 167) zu erklären, führten Schlanger und Douglas [1974] das Konzept des "diagenetischen Potentials" ein. Demnach benötigten verschiedene Sedimenttypen unterschiedlich viel Zeit, um den gleichen Festigkeitsgrad zu erreichen. Entscheidend für das "diagenetische Potential" sei die Sedimentzusammensetzung zum Zeitpunkt der Sedimentation. Als Steuerungsfaktoren gelten dabei Nähe des Ablagerungsortes zur Lysokline, Änderungen in der Kalziumkarbonat-Kompensationstiefe (CCD), unterschiedliche Sedimentationsraten, Planktonproduktivität, Oberflächenwassertemperatur und -salzgehalt, das Verhältnis von Coccolithen zu Foraminiferen sowie mehrere andere Faktoren. Unterschiedliche "diagenetische Potentiale" spiegeln also letztlich wohl Schwankungen in der Paläo-Ozeanographie wider. Daraus folgt in letzter Konsequenz, daß seismische Reflektoren in Tiefseesedimenten, die mit diagenetisch veränderten Sedimenthorizonten in Verbindung stehen, ebenfalls ein Abbild von langfristigen, paläo-ozeanographischen Ereignissen sein sollten [Schlanger und Douglas, 1974].

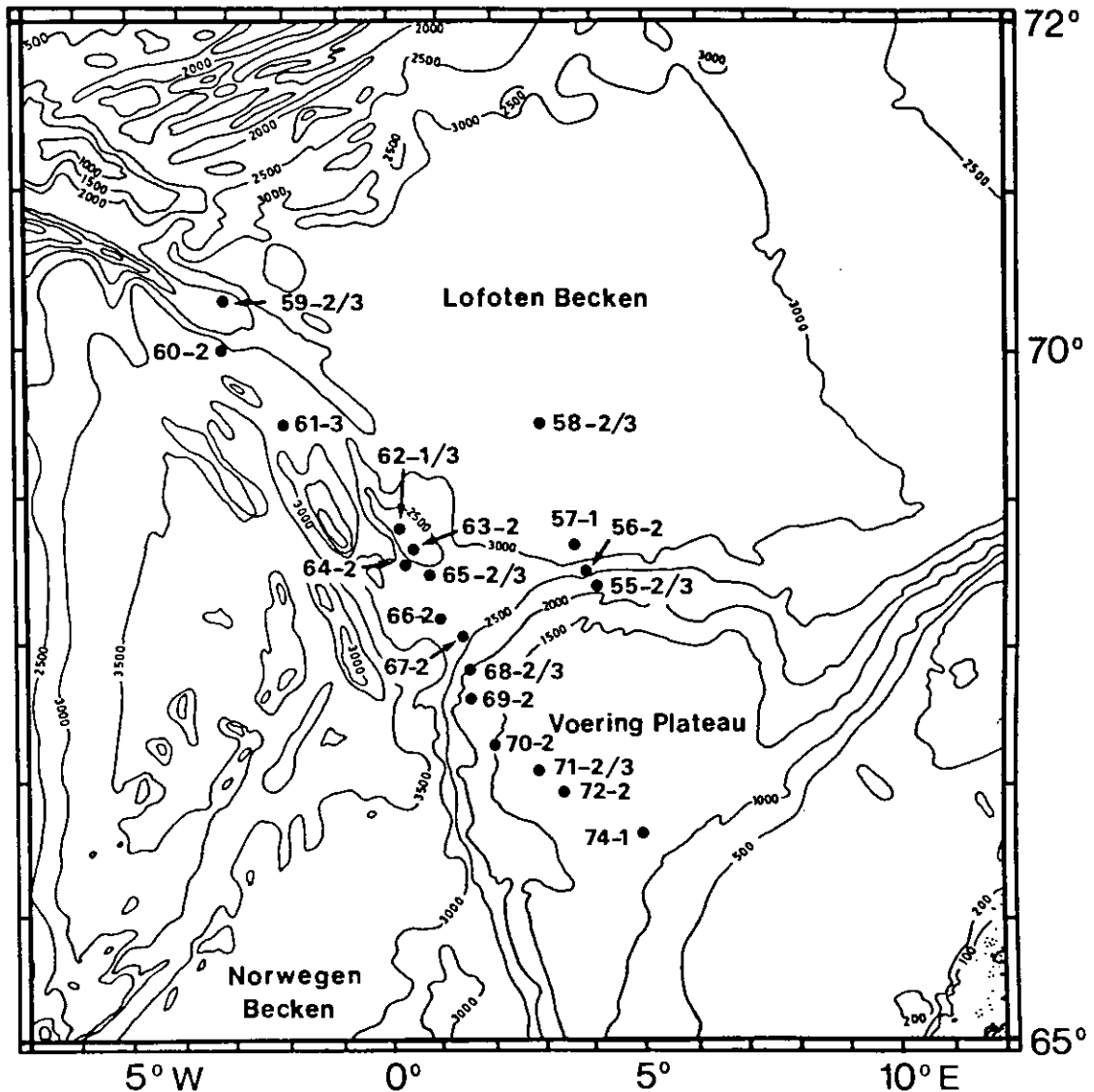


Abb.1: Kernstationen in der Norwegischen See. Bei den Stationsnummern wurde in dieser Karte sowie im weiteren Text auf das Präfix 230 verzichtet.

Hier stellt sich die Frage, inwieweit auch die oberflächennahen, verfestigten Sedimenthorizonte und die dazu parallel laufenden Reflektoren in hochauflösenden Sedimentecholotprofilen der Norwegischen See auf jenes unterschiedliche "diagenetische Potential" der Sedimente zurückzuführen sind.

Eine weitere Erklärungsmöglichkeit wären nämlich zum Beispiel stark verfestigte Sedimenthorizonte in der Nähe der Pleistozän/Holozän Grenze, die auf oberflächennahe metallreiche Sedimentkrusten zurückgehen. Solche sind in der Tiefsee bereits seit langem bekannt, z.B. aus dem Indischen Ozean [McGeary und Damuth, 1973], dem Roten Meer

[Gevirtz und Friedman, 1966], dem Pazifik [McGeary und Damuth, 1973; Berger und Johnson, 1976], dem Atlantik [McGeary und Damuth, 1973; Richardson, 1974; Damuth, 1978; Wallace et al., 1988], dem Golf von Mexiko [Trask, 1953; Ewing et al., 1958; Watson und Angino, 1969] und dem Mittelmeer [Olausson, 1961; Buckley et al., 1974].

Typisch für metallreiche Sedimentkrusten ist, daß sie im Gegensatz zu andersartig verfestigten Lagen im östlichen Äquatorialen Atlantik und in der Norwegischen See [Kassens und Sarnthein, 1989] immer parallel mit einem deutlichen Fazies- und Farbwechsel im Sediment zwischen 0.5 m bis 1 m Teufe auftreten [Wallace et al., 1988]. Die Farbe dieser 0.5 cm bis 4 cm mächtigen Sedimentkrusten variiert, abhängig vom Eisen- und Mangangehalt, zwischen rot, orange und schwarz [Richardson, 1974; Wallace et al., 1988].

Die Entstehung der einen wie der anderen verfestigten Lagen in der Tiefsee, wird in der Literatur auf die unterschiedlichsten diagenetischen Prozesse nahe oder an der Sedimentoberfläche zurückgeführt:

Die weitverbreiteten metallreichen Krusten in der Nähe der Pleistozän/Holozän Grenze werden im allgemeinen einem Wechsel in der Sedimentation von terrigenem Material zugeschrieben. So folgt zum Beispiel auf eine hohe, überwiegend terrigene Sedimentation während der letzten Enteisungsphase eine niedrige, pelagische Sedimentation im Holozän. Hierzu gehört z.B. auch die Wechsellagerung von Turbiditen und Foraminiferenschlamm [Ewing et al., 1958; Watson und Angino, 1969; Olausson, 1961; McGeary und Damuth, 1973; Thomson et al., 1984; Shepard et al., 1987]. Hauptfaktor ist die Tiefenlage der Redoxgrenze im Sediment [Richardson, 1974; Berger et al., 1983; Thomson et al., 1984; DeLange und Rispen, 1986; Wilson et al., 1986; Wallace et al., 1988; Dean et al., 1989;], das heißt der Übergang vom oxischen zum anoxischen Milieu. Eisen und Mangan werden hierbei in den terrigenen Mineralen unter reduzierenden Bedingungen gelöst und wandern durch Molekulardiffusion im Porenwasser aufwärts, um dann im oxischen Bereich, nahe der Sedimentoberfläche, wieder auszufallen. Nach Thomson et al. [1984] und Wilson et al. [1986] würde die Oxidationsfront im Sediment durch niedrigere Sedimentakkumulationsraten im Holozän in Teufenbereiche, in denen ehemals anoxische Verhältnisse vorherrschten, abgesenkt, und führte dadurch zur Bildung der Krusten. Wallace et al. [1988] bestätigen eine solche Vermutung. Sie zeigen im Nordostatlantik, daß die Position der eisenreichen Krusten mit der rezenten Redoxgrenze zusammenfällt.

Ursache der verfestigten Lagen im östlichen Äquatorialen Atlantik,

die zu Beginn (ca. 15.000 Jahre vor heute) und am Ende (ca. 7000 Jahre vor heute) der letzten Enteisungsphase auftreten, sind hingegen die Zementation durch Kalziumkarbonat sowie Kristallrasen aus Kalzit, Aragonit und Silikaten [Kassens, 1985; Kassens und Sarnthein, 1989]. Im Vergleich zu den metallreichen Sedimentkrusten scheint die rezente Position der Redoxgrenze für die Bildung dieser Art von verfestigten Lagen eher eine untergeordnete Rolle zu spielen, da hohe Scherfestigkeitswerte sich z.B. unabhängig von Eisen- und Mangananreicherungen innerhalb der Sedimentprofile wiederholen. Hier wird die Entstehung der verfestigten Lagen mit zeitgleichen, geologisch sehr kurzfristigen Änderungen der Ozeanographie in Verbindung gebracht. Die Scherfestigkeitsmaxima sind wahrscheinlich auf die Auflösung von pteropodenreichen Lagen, die weit unterhalb der heutigen Aragonit Kompensationstiefe abgelagert wurden und ein außergewöhnlich hohes Reservoir an leichtlöslichem Aragonit bieten, zurückzuführen [Kassens und Sarnthein, 1989].

Da Pteropoden ihren Lebensraum weitestgehend auf tropische und subtropische Meere beschränken [Bé und Gilmer, 1977], kann eine Zementation, die auf das fröhdiagenetische Lösen ihrer Schalen im Sediment zurückgeht, für die extrem hohen Scherfestigkeitsabweichungen in den hemipelagischen Sedimentprofilen der Norwegischen See weitgehend ausgeschlossen werden. Die Redoxgrenze, die heute in den Sedimentprofilen der Norwegischen See in 2 m bis 3 m Teufe liegt (freundliche mündliche Mitteilung W. Balzer, 1989), hat ebenfalls kaum Bedeutung für die Bildung der verfestigten Lagen gehabt, da hohe Scherfestigkeitswerte sowohl in oxischen als auch in anoxischen Bereichen auftreten. Hieraus ergeben sich somit folgende Fragen:

- generell nach der Ursache der zum Teil extrem hohen Scherfestigkeitswerte in den Sedimentprofilen der Norwegischen See;
- nach Mechanismen, die zur Gleichzeitigkeit der meisten überhöhten Scherfestigkeitswerte, z.B. nach drastischen und vor allem kurzfristigen Ereignissen in der Ozeanographie, führen;
- nach der Auswirkung der Scherfestigkeitswerte auf die akustischen Parameter.

Die Norwegische See reagiert besonders empfindlich auf klimatische Änderungen, da dieses Seegebiet direkt vom Vorstoß und Zerfall der kontinentalen Eismassen über Skandinavien und der unterschiedlichen Position der hydrographischen Polarfront [Swift und Aagaard, 1981] während Warm- und Kaltzeiten beeinflusst wird. Die Norwegische See zeichnet sich vor allem im Quartär durch extreme Veränderlichkeit ihrer Wassermassen im Vergleich zu anderen Ozeanbecken aus, was sich zum Beispiel im wechselnden Karbonatgehalt und den Festigkeitseigenschaften der Sedimente niederschlägt.

So vermuten Kellogg et al. [1978; 1980], daß eisfreie Bedingungen mit einer dem Holozän vergleichbaren Wassermassenzirkulation in der Norwegischen See nur während des Sauerstoffisotopenstadiums 5e, 124.000 bis 115.000 Jahre vor heute herrschten. Für den Zeitraum bis zum Sauerstoffisotopenstadium 5a, vor ca. 82.000 Jahren vor heute, nimmt er eine saisonal offene Meereisdecke an. Für den gesamten restlichen Zeitraum der letzten 380.000 Jahre (ab Sauerstoffisotopenstadium 11) postuliert er eine geschlossene Packeisdecke und eine stagnierende Wassermassenzirkulation in der Norwegischen See, wodurch die Kalziumkarbonatgehalte extrem niedrig wurden. Labeyrie et al. [1987] und Duplessy et al. [1988] weisen kontinuierlich eisfreie Bedingungen für die Zeit von Sauerstoffisotopenstadium 5e bis 4 nach.

Die Geschwindigkeit von ozeanographischen Veränderungen in der Norwegischen See lassen sich besonders präzise während der letzten Abschmelzphase messen. Zwischen 16.000 und 13.000 Jahren vor heute sei die Norwegische See nach Jansen et al. [1983], Jansen und Bjørklund [1985] und Sejrup et al. [1984] durch eine saisonal offene Meereisdecke und durch stabil geschichtete Wassermassen, als Folge eines Schmelzwasserdeckels gekennzeichnet gewesen. Vogelsang [1990] zeigt hingegen (mit AMS ^{14}C -Altern), daß Schmelzwasser in der Norwegischen See erst gegen 13.600 J.v.h. kurzfristig aufgetreten sei, während Jones und Keigwin [1988] in der Barents See einen ebenfalls kurzfristigen Eintrag von Schmelzwasser um 14.500 J.v.h. vermuten. Die Sedimente aus dieser Zeit weisen viel eistransportiertes Material und wenig Kalziumkarbonat auf. Der geringe Kalziumkarbonatgehalt ist nach Heinrich [1986] auf intensive Karbonatlösung am Meeresboden zurückzuführen. Ähnliche ozeanographische Verhältnisse nehmen Sejrup et al. [1984] auch für die Sauerstoffisotopenstadien 5d bis 5a und 4 an. Vor ca. 13.000 Jahren setzte der Einstrom von warmem, salinarem Atlantik-

wasser ein, der gegen 12.000 Jahre vor heute zum Wiedereinsetzen der Tiefenwasserbildung führte. Die Sedimente aus dieser Zeit zeichnen sich durch wenig Eisbergfracht und relativ hohe Kalziumkarbonatgehalte aus. Vor ca. 10.000 Jahren etablierte sich dann vermutlich die heutige Wassermassenzirkulation.

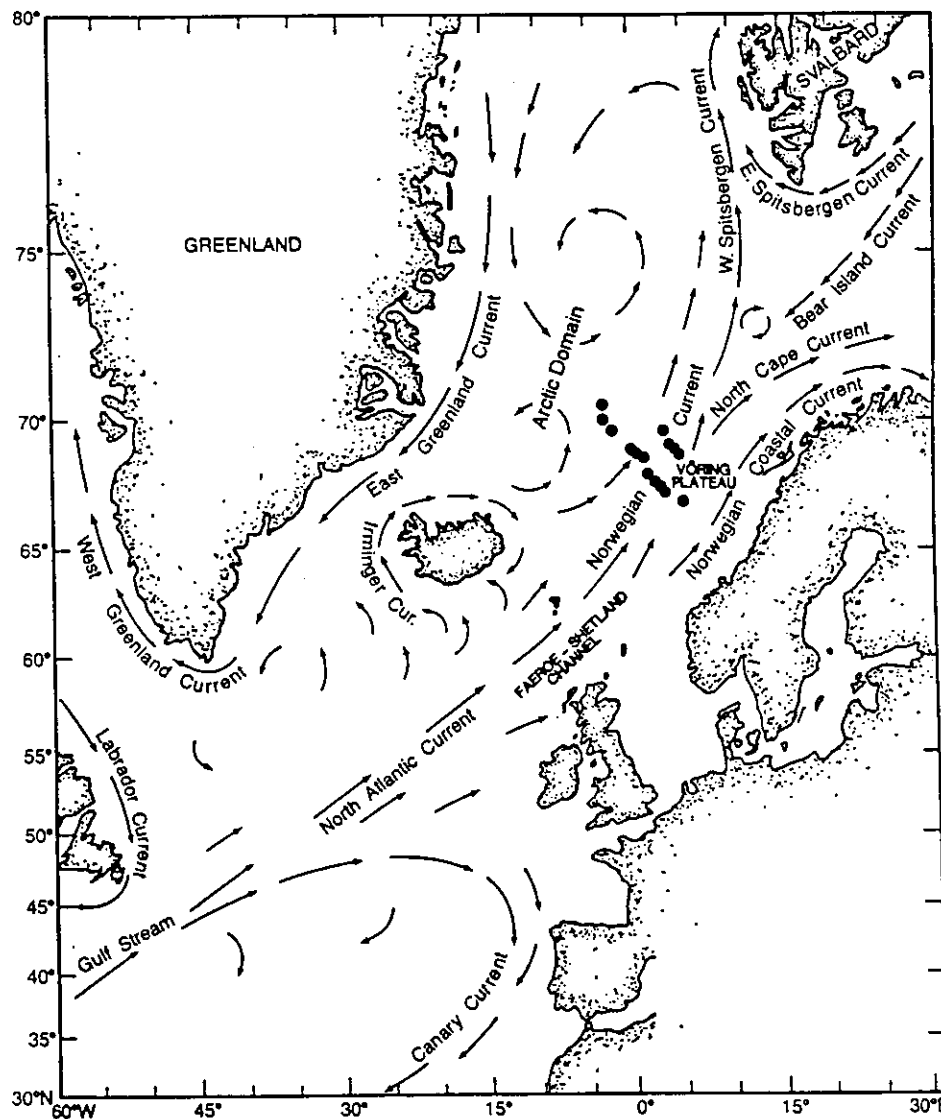


Abb.2: Heutige Oberflächenwasserzirkulation im Europäischen Nordmeer [Eldholm et al., 1987]. Punkte markieren die Kernpositionen in der Norwegischen See.

Die Zirkulation der Norwegischen See funktioniert heute nach dem Grundprinzip eines ariden Nebenmeers, mit hoher Kalksedimentation [Kellogg, 1980] und niedriger, organischer Kohlenstoffsedimentation

[Sarnthein und Winn, 1988]. Von besonderer Bedeutung ist dabei der Einstrom von relativ warmen und salinaren Oberflächenwassermassen aus dem Nordatlantik. Sie fließen hauptsächlich durch den Faeroer-Shetland Kanal [Swift und Aagaard, 1981] (Abb. 2) und als Norwegenstrom entlang des norwegischen Kontinentalhanges über das Vøring Plateau bis in das nördlichste Europäische Nordmeer (Abb. 2). Hier ist das Atlantikwasser soweit abgekühlt, daß es aufgrund des hohen Salzgehaltes unter das geringer salinare, arktische Oberflächenwasser absinkt und als Zwischenwasser bis in die Arktis gelangt [u.a. Johannessen, 1986]. Die relativ warmen atlantischen Wassermassen verzerren die gesamte Klimazonierung der Nordhemisphäre, da sie in ihrem Verlauf vom Faeroer Shetland Kanal bis Spitzbergen große Wärmemengen an die Atmosphäre abgeben und selbst dabei um ca. 5°C abkühlen [Johannessen, 1986].

In der westlichen Norwegischen See dominieren die arktischen Oberflächenwassermassen der arktischen Domäne (Abb. 2) [Swift und Aagaard, 1981; Swift, 1986]. Diese Wassermassen sind weniger salinar und kälter als die atlantischen Wassermassen [Swift, 1986]. Wegen der niedrigen Temperaturen ist hier die Coccolithen-Produktion gering [McIntyre et al., 1972].

Das Norwegen-See-Tiefenwasser (NSDW) ist ein Mischwasser, das zu 60% aus Grönland-See-Tiefenwasser und zu 40 % aus Tiefenwasser des Eurasischen Beckens besteht [Aagaard, 1985; Smethie et al. 1986; Koltermann, 1987 und Swift und Koltermann, 1988]. Nach Swift und Koltermann [1988] bildet das NSDW eine homogene Wassermasse unterhalb von 2000 m Wassertiefe, für die geringe Temperaturen von 0.5°C bis 1.1°C sowie hohe Salz- (34.92%) und Sauerstoffgehalte (305 µmol/kg) typisch sind [Aagaard et al., 1985; Smethie et al. 1986; Swift, 1986]. Mackensen [1985] zeigt, daß auch das Vøring Plateau mit einer durchschnittlichen Wassertiefe von 1200 m noch im Einflußbereich des NSDW liegt, da die Wassermassen hier, corioliskraftbedingt, am Ostrand des Beckens nach oben hin bis in 800 m Tiefe auskeilen.

Das Arbeitsgebiet erstreckt sich im östlichen Europäischen Nordmeer von 66° bis 71°N und von 5°E bis 3°W zwischen dem Norwegen Becken im Süden über das Vøring Plateau und die Jan Mayen Bruchzone bis hin zum Lofoten Becken (Abb. 1). Die Kernstationen gruppieren sich zu SE-NW und SSE-NNW verlaufenden Profilen vom Vøring Plateau in Richtung auf Jan Mayen bzw. in das Lofoten Becken von 1157m bis 3534m Wassertiefe (Abb. 1; Tab.1) [Gerlach et al., 1986].

Heute liegen demnach die Kernstationen des östlichen Profilabschnittes im Einflußbereich des atlantischen Oberflächenwassers mit

Tab.1: Geographische Positionen, Wassertiefen, Kerngewinne und Eindringtiefen der Großkastengreifer- und Kastenlotstationen (Großkastengreifer: GKG; Kastenlot: KAL) [Gerlach et al., 1986].

Kern	Gerät	geograph.	geograph.	Wassertiefe	Kerngewinn/ Eindringtiefe
		Breite (N)	Länge	(m)	(cm)
23055-2	GKG	68°25.40'	4°01.40'E	2308	40
23055-3	KAL	68°25.40'	4°01.30'E	2311	667/677
23056-2	GKG	68°30.10'	3°50.30'E	2665	40
23057-1	GKG	68°40.20'	3°30.10'E	3157	43
23058-2	GKG	69°30.00'	3°00.10'E	3276	50
23058-3	KAL	69°30.30'	2°59.70'E	3276	642/840
23059-2	GKG	70°18.30'	3°07.30'W	2283	40
23059-3	KAL	70°18.30'	3°07.40'W	2281	622/705
23060-2	GKG	70°00.10'	2°59.70'W	3229	40
23061-3	GKG	69°30.10'	2°01.70'W	3534	56
23062-1	KAL	68°43.70'	0°10.10'E	2244	700/700
23062-3	GKG	68°43.00'	0°10.80'E	2243	40
23063-2	GKG	68°44.80'	0°00.30'E	2302	40
23064-2	GKG	68°39.90'	0°19.40'E	2571	40
23065-2	GKG	68°29.70'	0°49.90'E	2804	42
23065-3	KAL	68°29.70'	0°49.10'E	2802	785/785
23066-2	GKG	68°15.20'	1°00.40'E	2795	40
23067-2	GKG	68°05.60'	1°25.50'E	2837	42
23068-2	GKG	67°50.00'	1°30.10'E	2228	44
23068-3	KAL	67°50.00'	1°30.30'E	2230	760/850
23069-2	GKG	67°39.90'	1°36.00'E	1894	46
23070-2	GKG	67°20.40'	2°09.90'E	1505	50
23071-2	GKG	67°05.10'	2°54.40'E	1306	45
23071-3	KAL	67°05.10'	2°54.50'E	1308	805/839
23072-2	GKG	67°00.00'	3°24.80'E	1400	43
23074-1	KAL	66°40.00'	4°54.30'E	1157	774/800

seiner pelagischen Kalziumkarbonatsedimentation. Die Stationen des westlichen Profilabschnittes liegen im Einflußbereich des arktischen Oberflächenwassers (Abb. 2).

Nach Damuth [1978] dominieren auf dem Vøring Plateau, im Norwegen Becken und im südlichen Lofoten Becken starke Bodenechos mit vielen parallelen Reflektoren im Untergrund (Typ IB; vgl. Abb. 3), die über weite Strecken verfolgt werden können. Damuth [1978] verbindet diesen Echocharaktertyp mit sandig-tonigen Sedimentabfolgen, in denen nur wenig oder kein grobkörniges, eistransportiertes Material auftritt. Die Sedimentprofile der Kernstationen 55, 58, 62, 65, 68, 71 und 74 aus diesen Regionen (Abb. 1; Tab. 1) eignen sich besonders gut für eine Korrelation zwischen hochauflösenden Sedimentecholotaufzeichnungen und sedimentphysikalischen Parametern. Im Gegensatz dazu wird das Gebiet der Jan Mayen Bruchzone, im Umfeld der Kernstation 59, durch große, unregelmäßige, zum Teil überlappende Diffraktionshyperbeln mit stark variierenden Amplituden von 10 m bis 200 m und Wellenlängen von 500 m bis zu mehreren km geprägt (Typ IIIA; Abb. 3). Dieser Echocharaktertyp ist typisch für das unruhige Relief der Bruchzonen im Bereich des Mittelatlantischen Rückens. Sedimentbedeckung wird hier nur als 'Kissen' auf älteren Teilrücken und (eher wohl ungestört) in den Tälern erwartet [Damuth, 1978].

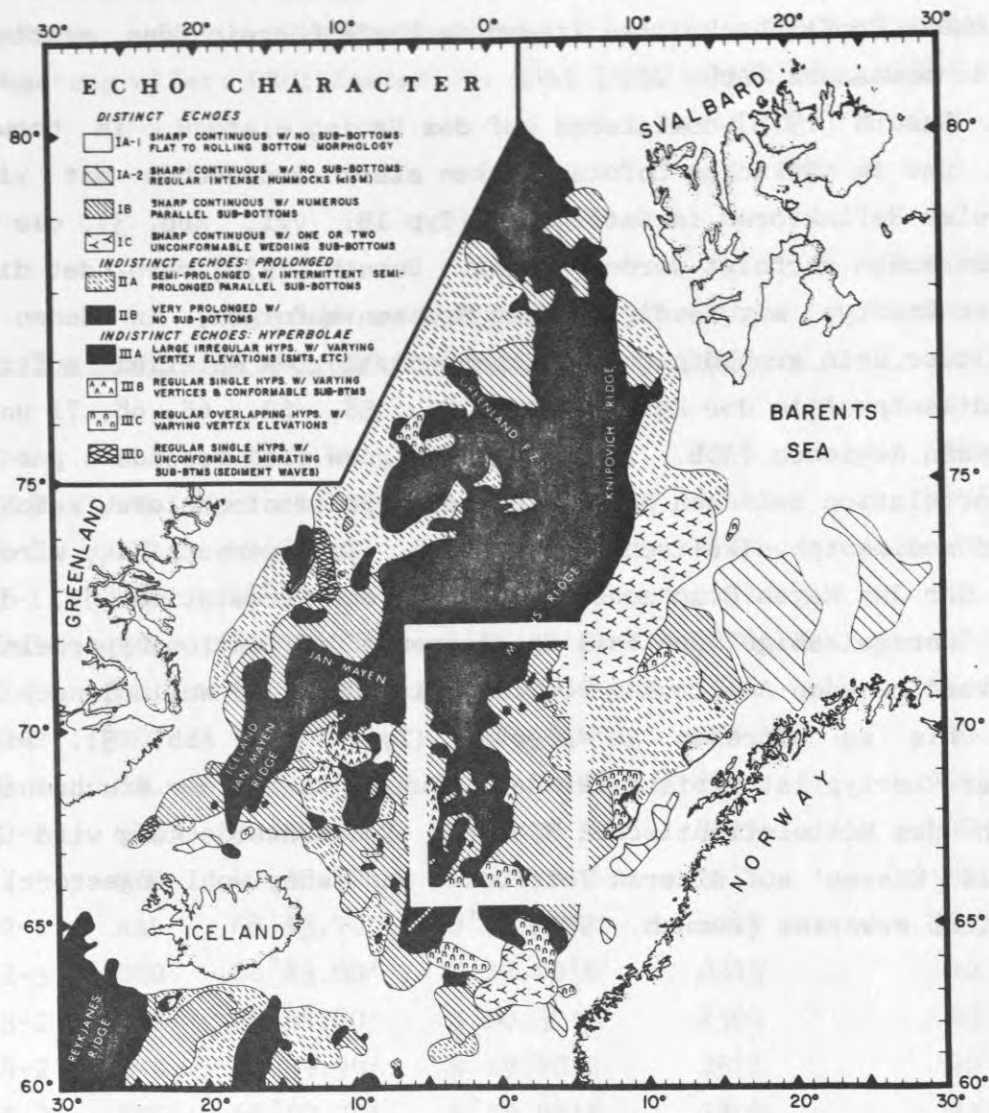


Abb.3: Echocharakterkarte des Europäischen Nordmeer [Damuth, 1978]. In dieser Karte ist die regionale Verbreitung von akustischen Provinzen dargestellt. Die akustischen Provinzen wurden anhand von 3.5 kHz-Sedimentechogrammen erfaßt und geben einen ersten Eindruck über die Sedimentverteilung im Europäischen Nordmeer. Das Arbeitsgebiet ist durch einen Rahmen gekennzeichnet.

METHODEN

SEDIMENTECHOGRAPHIE

Der Einsatz von hochauflösenden, niederfrequenten Sedimentecholoten in hemipelagischen und pelagischen Tiefseesedimenten ermöglicht die Kartierung von 'akustischen Provinzen' und somit die großräumige Deutung von lokalen und regionalen Sedimentationsprozessen [Damuth, 1978; Jacobi und Hayes, 1982; Mienert, 1986]. Zusammen mit einer gezielten Entnahme von Sedimentkernen, detaillierten sedimentologischen und sedimentphysikalischen Analysen sowie der stratigraphischen Einstufung der Sedimentprofile können oberflächennahe Reflexionshorizonte (in der Norwegischen See bis 10 m Tiefe) interpretiert und zeitlich geeicht werden. Dies ermöglicht nicht nur, Sedimentstrukturen in den oberen Zehnermetern aufzulösen, sondern es sind dadurch Aussagen zur räumlichen Sedimentverteilung möglich.

Das horizontale und vertikale Auflösungsvermögen und die Meeresbodeneindringung eines Echolotsystemes sind für die Qualität und Aussagekraft eines Echogramms von besonderer Bedeutung [Hinz et al., 1969]. Dabei wird das Auflösungsvermögen eines Sedimentecholotes vor allem durch die Sendefrequenz und die Impulslänge, schließlich auch durch die Bündelung des Schallstrahls bestimmt [u.a., Hinz et al., 1969].

Während der Meteor 2/2-Reise wurde erstmals parallel zum ORE-3.5 kHz Sedimentecholot (OCEAN RESEARCH EQUIPMENT) [Sarnthein et al., 1983; Mienert, 1986] das neu entwickelte, hochauflösende ATLAS-PARASOUND Sedimentecholot (KRUPP ATLAS ELEKTRONIK) [Harre und Wittstock, 1986] eingesetzt um das Auflösungsvermögen der beiden verschiedenen Systeme zu vergleichen [Gerlach et al., 1986] (Abb. 4).

Leider beschränken sich die PARASOUND Echolotaufzeichnungen aus technischen Gründen während der Meteor 2/2 Expedition [Gerlach et al., 1986] auf wenige Profilabschnitte, meist im Umfeld der Kernstationen im südöstlichen Arbeitsgebiet (Abb. 4).

Im Vergleich zu einem konventionellen 3.5 kHz-Sedimentecholot (z.B. ORE-Technik) kann mit dem fest auf dem Forschungsschiff Meteor installierten PARASOUND-Sedimentecholot (KRUPP ATLAS ELEKTRONIK) sowohl die Morphologie des Meeresbodens in allen Wassertiefen wie auch die Struktur der oberflächennahen Sedimente mit sehr hoher Auflösung aufgenommen werden. Die vertikale und horizontale Auflösung des PARASOUND-Systems wird durch die enge Bündelung des Schallkegels von 4.5° gegenüber 30° bei dem konventionellen ORE 3.5 kHz Sediment-

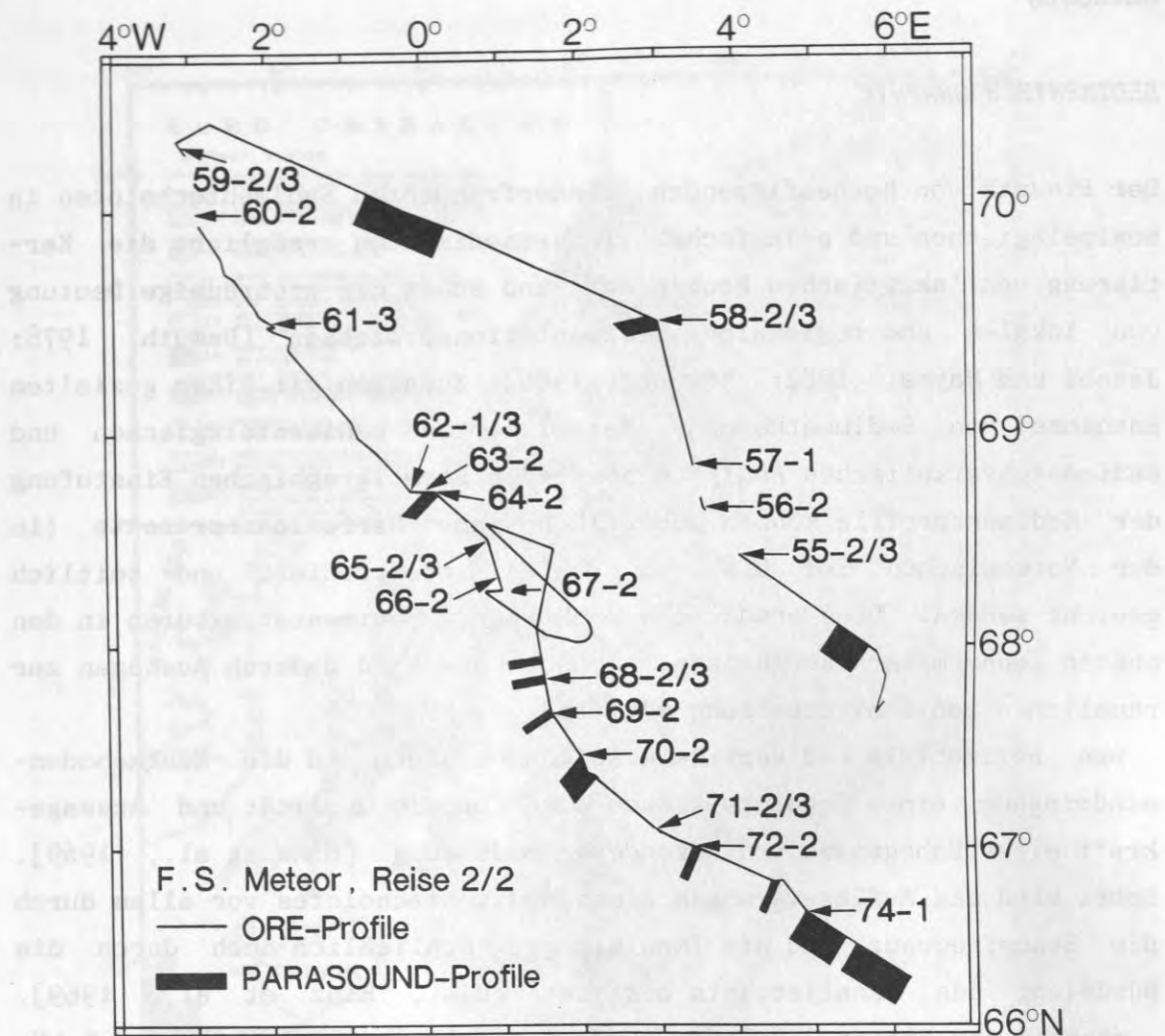


Abb. 4: ORE-3.5-kHz- und PARASOUND-Sedimentecholotprofile sowie Kernstationen im Arbeitsgebiet Norwegische See.

echolot und durch das Fehlen von Nebenpegeln deutlich verbessert [Gerlach et al., 1986; Heinrich, 1986; Hirschleber, et al., 1988]. Bei gleicher Wassertiefe überstreicht das PARASOUND-Lotsignal damit eine wesentlich kleinere Fläche als das ORE-Lotsignal. Dadurch werden (a) Seitenechoeffekte bei steilen Hangneigungen und unruhigem Meeresbodenrelief und (b) Dehnungen und Überprägungen von echten Reflexionen durch das unterschiedliche Eintreffen einzelner Punkte der Wellenfront bei großen Abstrahlwinkel auf ein Minimum reduziert [freundliche mündliche Mitteilung R. Schreiber und H. Wentzel, 1990]. Die enge Bündelung im Niederfrequenzbereich wird beim PARASOUND erreicht, indem zwei eng benachbarte hohe Frequenzen von 18 kHz und von 20.5 bis 23.5 kHz gleichzeitig ins Wasser abgestrahlt werden. Durch die Mischung der Frequenzen in der Wassersäule 'parametrischer

Effekt' werden die für die Sedimenteindringung benötigten niedrigen Frequenzen von 2.5 bis 5.5 kHz erzeugt [Harre & Wittstock, 1986].

Umgekehrt arbeitet das konventionelle 3.5 kHz-System mit sehr viel höheren Ausgangsenergien (ORE-3.5 kHz: 10 kW; PARASOUND-System: ca. 1 kW) und rechnet damit, daß beachtliche, nach weiter außen abgestrahlte Teile dieser Energien verloren gehen. Auch dadurch halten sich Seitenechos im allgemeinen in recht engen Grenzen.

Ein Vergleich von PARASOUND- und 3.5 kHz-Echogrammen aus dem Lofoten-Becken bei 3200 m Wassertiefe (aufgenommen auf genau derselben Meßstrecke) zeigt den Vorteil des PARASOUND-Systems. Hervorzuheben sind hier die schmalen und dadurch deutlich unterscheidbaren zum Teil dicht aufeinander folgenden Reflexionshorizonte im PARASOUND Echogramm (Abb. 5). Dies ist vor allem für die genaue Korrelation mit Sedimentparametern und die zeitliche Eichung von Reflektionshorizonten von entscheidender Bedeutung.

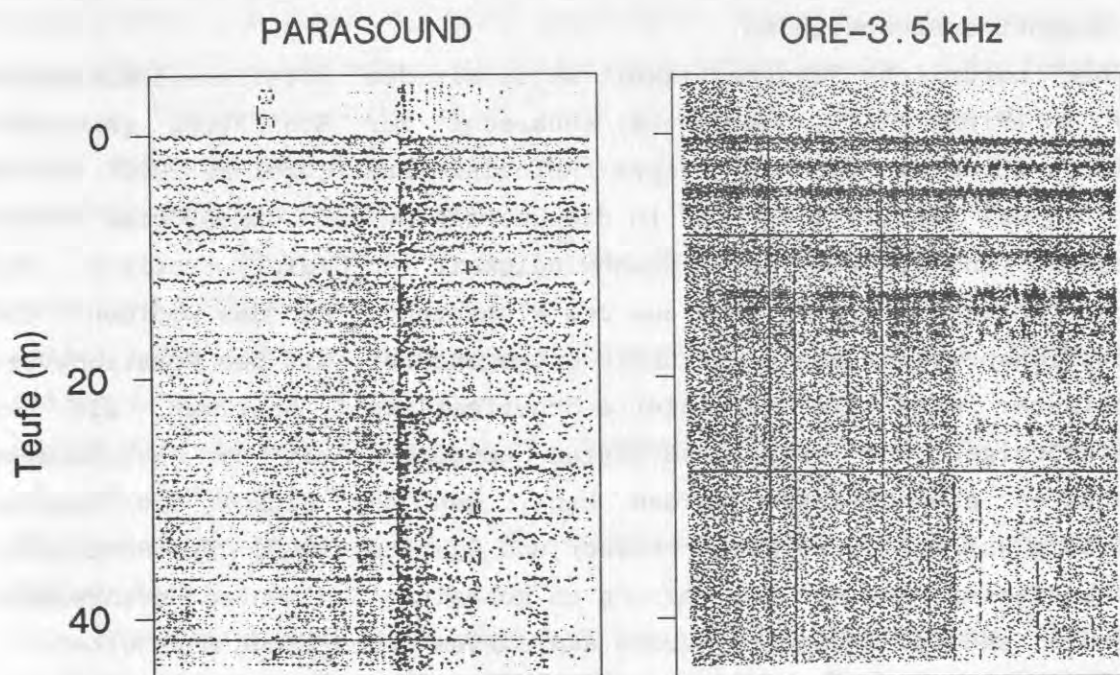


Abb. 5: Vergleich von PARASOUND- und 3.5 kHz-Sedimentechogrammen beim Anlaufen der Station 23058 im Lofoten-Becken. Man beachte die dünnen Reflexionshorizonte im PARASOUND-Echogramm aufgenommen auf genau derselben Meßstrecke. Die Impulslängen der PARASOUND- und ORE-3.5 kHz-Ausgangssignale betrugen 1 ms.

Ein Nachteil des PARASOUND-Echolotsystems ist, daß bei steileren Böschungen, wie am Mittelatlantischen Rücken, das hochsensible System ausfällt und somit an vielen wichtigen Stellen nicht einsatzfähig ist. Ferner ist das eingesetzte Registriersystem noch mit zahlreichen Fehlern behaftet [Lutze et al., 1988; Sarnthein et al., 1989].

Sedimentphysikalische und sedimentologische Messungen

Um mögliche Beziehungen zwischen der vertikalen Verteilung der natürlichen Scherfestigkeit und paläo-ozeanographischen Änderungen in spät-quartären Tiefseesedimenten zu rekonstruieren, wurden während der *Meteor* 2/2 Expedition in die Norwegische See fast 2000 Scherfestigkeitsmessungen an den Sedimentprofilen von 19 Großkastengreifern und 8 Kastenloten durchgeführt (Abb. 1) [Gerlach et al., 1986]. Die Scherfestigkeitsmessungen erfolgten an frischen und ungestörten Sedimentkernen direkt nach der Entnahme an Bord der F.S. *Meteor*, um eine Beeinträchtigung des Sedimentes und seiner Meßwerte durch Lagerung und Transport auszuschließen.

Die natürliche Scherfestigkeit wurde mit dem Rotationsviskosimeter RV 3 (Firma HAAKE, Karlsruhe) senkrecht zur Schichtung gemessen. Hierzu wurde ein vierschenkliges 'Rotovisko Drehflügel FL 1000' (10 mm x 8.8 mm) jeweils 1 cm tief in die Oberfläche der ungestörten Probe gesenkt und mit konstanter Geschwindigkeit (4 U/min.) rotiert. Die Scherfestigkeit ergibt sich aus dem Widerstand, den das Sediment der Rotationsbewegung des Drehflügels entgegensetzt. Mit dem Rotationsviskosimeter wird die undrainierte Scherfestigkeit bestimmt, die bei feinkörnigen und wassergesättigten Sedimenten mit der scheinbaren Kohäsion gleichgesetzt werden kann, wenn der Winkel der inneren Reibung auf Null zurückgeht [Bishop und Bjerrum, 1960]. Das Rotationsviskosimeter kann nur zur Messung an kohäsiven Sedimenten herangezogen werden; sandige Sedimente wurden aus diesem Grund nicht bearbeitet.

In den Großkastengreiferprofilen wurde dabei ein kontinuierlicher Probenabstand von 2.5 cm und in den Kastenlotprofilen ein Probenabstand 2.5 cm bis 10 cm gewählt, um auch kleinräumige Variationen der Scherfestigkeitswerte zu erkennen. Generell wurden pro Sedimenthorizont 2-4 Scherfestigkeitsmessungen durchgeführt, um Inhomogenitäten, wie sie z.B. durch Bioturbation oder eistransportiertes Material verursacht werden können, ebenfalls zu erfassen.

Um den Festigkeitsgrad der Sedimente zu verstehen, wurden parallel die wichtigsten Steuerungsfaktoren der Scherfestigkeit wie Konsolidierungsgrad, Feuchtraumgewicht, Wassergehalt, Porosität, anorganischer- und organischer Kohlenstoffgehalt (C und C_{org}) sowie Korngrößenverteilung bestimmt (Abb. 6; Tab. 2) [u.a. Richards, 1962; Kögler, 1967; Almagor, 1979].

Wassergehalt und Feuchtraumgewicht wurden an Stechzylinderproben (10 cm^3) gemessen (Abb. 6). Hierzu wurden die frischen, an Bord genommenen, Sedimentproben in luftdicht verschraubbare, numerierte Gläschen verpackt und im Institutslabor gewogen (Abb. 6).

Die Porosität wurde über die Porenziffer, d.h. über den Wassergehalt und das spezifische Gewicht der mit einem definierten Volumen entnommenen Sedimentprobe, bestimmt. Da das spezifische Gewicht der Sedimentproben nur geringe Schwankungen zeigt (Tab. A1), wurde für die GKG-Profile 64-2, 66-2, 67-2, 69-2, 70-2 und 72-2 ein spezifisches Gewicht von $2,62 \text{ g/cm}^3$ für die Berechnung der Porosität zugrundegelegt. Dies ist der Durchschnitt aller gemessenen GKG-Proben (Tab. A1).

Der Konsolidierungsgrad wurde nach der Methode von Bjerrum und Simons [1960] und Skempton [1970] ermittelt. Diese Methode beruht auf einer empirischen Beziehung zwischen dem Verhältnis der Scherfestigkeit zur Sedimentauflast (c_u/P_o) und dem Plastizitätsindex (I_p) in normal konsolidierten Sedimenten (Abb. 6; Tab. 2). Die Beziehung entspricht folgender Gleichung:

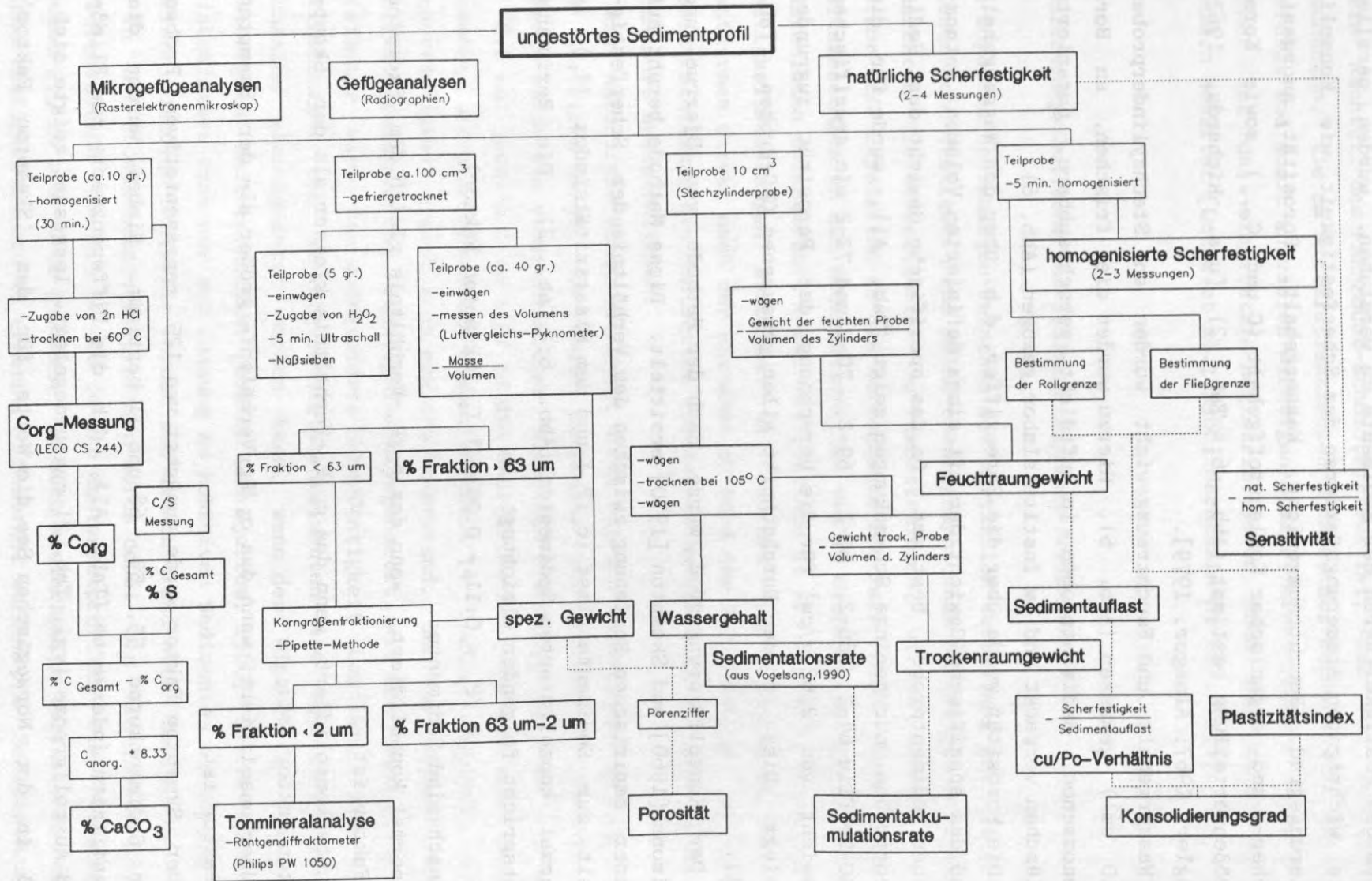
$$c_u/P_o = 0.11 + 0.0037 * I_p \text{ (Skempton Faktor)}$$

Danach sind Sedimente:

- normal konsolidiert, wenn das c_u/P_o -Verhältnis gleich dem Skempton Faktor ist;
- unterkonsolidiert, wenn das c_u/P_o -Verhältnis kleiner als der Skempton Faktor ist;
- überkonsolidiert, wenn das c_u/P_o -Verhältnis größer als der Skempton Faktor ist.

Der Skempton Faktor wurde zunächst von 125 repräsentativen Proben der Sedimentkerne 55, 59, 68 und 71 bestimmt. Hierbei wurden die Plastizitätsindexwerte (Tab. A1), d.h. die Differenzwerte zur Fließ- und Ausrollgrenze (vgl. Tab. 2) zugrundegelegt. Insgesamt zeigte sich, daß in der Norwegischen See die Werte für den 'Skempton Faktor' positiv mit den Porositätswerten korrelieren (Abb. 7). Darauf aufbauend wurden die 'Skempton Faktoren' für die übrigen Sedimente über die Porositätswerte berechnet ('Skempton Faktor' = $0.0038 * \text{Porosität}$

Abb. 6: Übersichtsdiagramm der Analysengänge zur Bestimmung sedimentologischer und sedimentphysikalischer Parameter.



- 0.0019; vgl. Abb. 7). Nach dieser Methode konnte schließlich der Konsolidierungsgrad von allen Sedimentprofilen detailliert ermittelt werden.

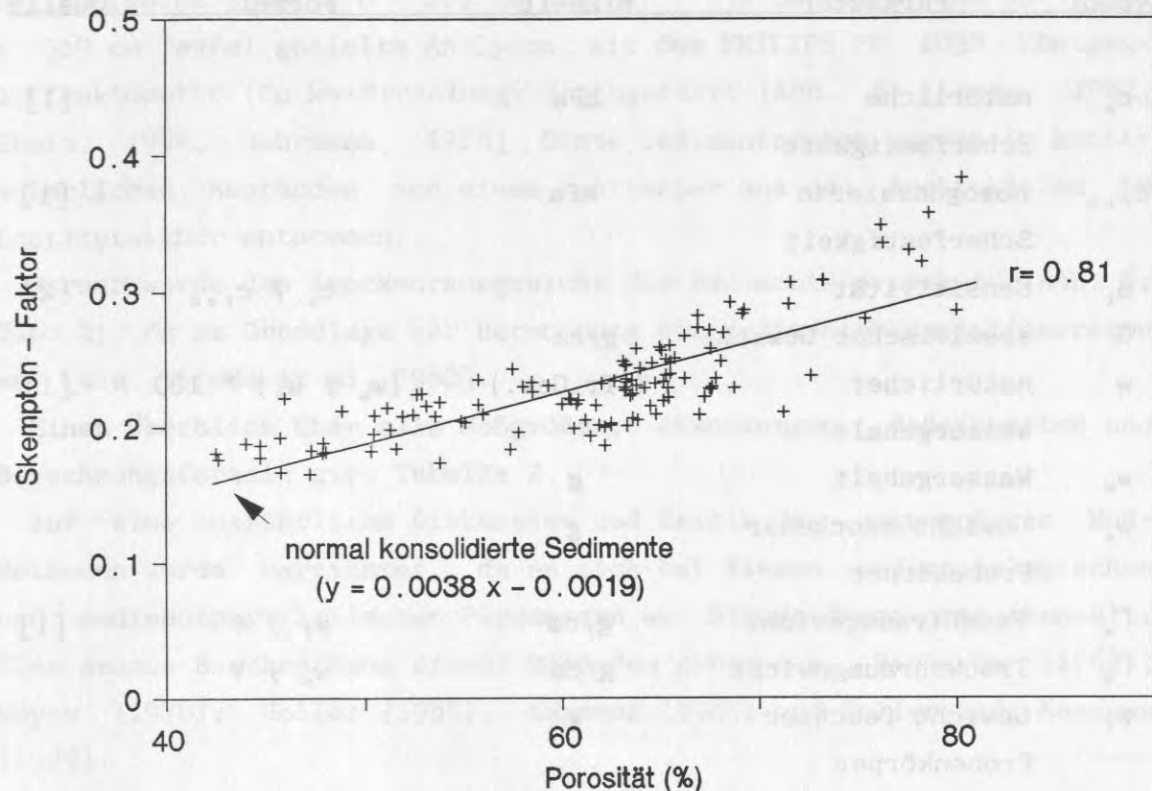


Abb. 7: Korrelation zwischen Skempton Faktor und Porosität in den Sedimentkernen 55, 59, 68 und 71 aus der Norwegischen See.

Mit Hilfe des Schwefelgehaltes (S) der Sedimente (Abb.6) sollten eventuelle schwefelhaltige Mineralneubildungen identifiziert werden, die ebenfalls zu einer Erhöhung der Scherfestigkeitswerte führen können [freundliche mündliche Mitteilung, F.C. Kögler, 1988].

Das Sedimentgefüge, ein weiterer Faktor der Scherfestigkeit, wurde makroskopisch anhand von Kernbeschreibungen [Henrich, unpubl. Manuskript, 1988] und Radiographien [Bouma, 1969] untersucht. Detaillierte Kernbeschreibungen und Radiographien wurden außerdem zur Abschätzung des Ausmaßes künstlicher und natürlicher Störungen der Lagerungsgefüge in den Sedimentprofilen herangezogen.

An einigen Sedimentprofilen wurden zusätzlich die homogenisierte Scherfestigkeit und die strukturebedingte Festigkeit, also die Sensitivität der Sedimente, bestimmt (Abb.6; Tab.2). Die homogenisierte Scherfestigkeit, eine Materialkonstante, die im wesentlichen durch die

Tab. 2: Übersicht der sedimentphysikalischen Parameter, deren Berechnungsformeln und Verzeichnis aller Textabkürzungen. [1] Richards [1962]; [2] Rosenquist [1953]; [3] Bjerrum und Simons [1960]; [4] Skempton [1970] und [5] Thiede et al, 1982].

Symbol	Parameter	Einheit	Formel	Quelle
c_u	natürliche Scherfestigkeit	kPa		[1]
c_{rem}	homogenisierte Scherfestigkeit	kPa		[1]
S_t	Sensitivität		c_u / c_{rem}	[2]
G	spezifisches Gewicht	g/cm ³		
w	natürlicher Wassergehalt	%(Tr.Gew.)	$(w_w / w_s) * 100$	[1]
w_w	Wassergehalt	g		
w_s	Gewicht trockener Probekörper	g		
Γ_w	Feuchtraumgewicht	g/cm ³	w_f / v	[1]
Γ_D	Trockenraumgewicht	g/cm ³	w_s / V	
w_f	Gewicht feuchter Probekörper	g		
V	Volumen Probekörper	10 cm ³		
σ_w	Raumgewicht Salzwasser (1.025)	g/cm ³	Salzgehalt 35%	
P_o	Sedimentauflast	kPa	$(\Gamma_w - \sigma_w) * d * 0.098 + P_a$	[1]
d	Teufenintervall	cm		
P_a	Sedimentauflast des vorangegangenen d	kPa		
e	Porenziffer		$((\sigma_w * G * V) / w_s)$	[1]
n	Porosität	%	$e / (1 + e) * 100$	[1]
LL	Fließgrenze	%(Tr.Gew.)		[1]
PL	Ausrollgrenze	%(Tr.Gew.)		[1]
I_p	Plastizitätsindex		LL - PL	[1]
c_u/P_o	Scherfestigkeit/Sedimentauflast		c_u / P_o	[3,4]
Ω	Sedimentationsrate	cm/1000 J.		
AR	Sedimentakkumulationsrate	g/(cm ² *1000J.)	$\Gamma_D * \Omega$	[5]

Korngrößenverteilung, den Mineralbestand und den organischen Kohlenstoffgehalt geprägt wird, ist ebenfalls ein wichtiges Kriterium zur Beurteilung der natürlichen Scherfestigkeit [Holler, 1985].

Um die Tonmineralzusammensetzung in diagenetisch veränderten Sedimenthorizonten zu identifizieren, wurden an einigen Abschnitten der Sedimentkerne 55-3 (170 - 209 cm und 327 - 359 cm Teufe) und 59-3 (522 - 569 cm Teufe) gezielte Analysen mit dem PHILIPS PW 1050 Röntgendiffraktometer (Co $k\alpha$ -Strahlung) durchgeführt (Abb. 6) [Lange, 1982, Stein, 1984, Bohrmann, 1988]. Diese Sedimentproben wurden in kontinuierlichen Abständen von einem Zentimeter aus den Archivkästen im Institutslabor entnommen.

Ferner wurde das Trockenraumgewicht der Sedimente errechnet (Abb. 6; Tab. 2), da es Grundlage zur Berechnung von Sedimentakkumulationsraten war [u.a. Thiede et al, 1982].

Einen Überblick über alle Meßgrößen, Abkürzungen, Maßeinheiten und Berechnungsformeln gibt Tabelle 2.

Auf eine ausführliche Diskussion und Kritik der angewendeten Meßmethoden wurde verzichtet, da es sich bei diesen sedimentologischen und sedimentphysikalischen Parametern um Standardkennwerte handelt. Eine genaue Beschreibung dieser Methoden geben u.a. Richards (1962); Boyce (1976); Holler (1985), Kassens (1985) und Holler und Kassens (1989).

Rasterelektronenmikroskopie und Mikrosondenanalysen

Um Veränderungen des Sedimentgefüges durch frühdiagenetische Zementation zu erkennen, wurden an gezielt ausgewählten Sedimentproben Mikrogefügeanalysen mit dem Rasterelektronenmikroskop (REM) durchgeführt. Ungestörte Sedimentproben sind für Mikrogefügeanalysen am REM eine wichtige Voraussetzung, um Fehlinterpretationen zu vermeiden [Tovey & Wong, 1978]. Um sicher zu gehen, daß keine Artefakte bei der Probentrocknung entstehen, und das Mikrogefüge durch keine Trockenrisse gestört wird, wurden während der Einarbeitungsphase unterschiedliche Trocknungsmethoden (Tab. 3) getestet. Hierzu wurde eine kalziumkarbonatreiche Tiefseesedimentprobe aus dem äquatorialen Ostatlantik ausgewählt (Sedimentkern 16458-2, 12 cm bis 13.5 cm Teufe). Die wichtigsten Ergebnisse dieser Testreihe sind in Tabelle 3 und Abbildung 8 zusammengefaßt.

Tab. 3: Unterschiedliche Trocknungsmethoden und deren Auswirkungen auf das Mikrogefüge der Sedimente.

Trocknungsmethode	Zeitraum	Gefüge	Artefakte
Lufttrocknung bei ca. 20°C	48 - 72 Std.	zum Teil gestört	Schimmelpilze u. Salzkristalle auf der Probenober- fläche (Abb.8a)
Gefriertrocknung	max. 24 Std.	stark gestört (Abb.8b)	Salzkristalle auf der Probenober- fläche (Abb.8c)
Exikkatortrocknung mit Phosphorpent- oxid bei ca. 20°C	max. 24 Std.	gestört (Abb.8d)	Salzkrusten auf der Probenober- fläche (Abb. 8e)
Exikkatortrocknung mit Phosphorpent- oxid bei ca. 7°C	ca. 48 Std.	ungestört (Abb.8f)	keine

Insgesamt hat sich gezeigt, daß bei einer zu schnellen oder zu langsamen Probentrocknung eine Beeinträchtigung der Sedimentproben durch gestörte Gefüge oder Bildungen von Artefakten, z.B. Salzkristalle, nicht ausgeschlossen werden kann. Als beste Methode, diese 'Laborzüchtungen' und Trockenrisse zu vermeiden, erwies sich die vorsichtige Exikkatortrocknung bei ca. 7°C mit Phosphorpentoxid. Die Ergebnisse von Kassens und Sarnthein [1989] haben diese Studien bereits berücksichtigt.

Die REM-Sedimentproben aus der Norwegischen See wurden sofort nach der Kernentnahme an Bord der F.S. *Meteor* entnommen und in ununterbrochener Kühlkette bis ins Institutslabor transportiert [Gerlach et al., 1986]. Hier wurden sie dann im Exikkator mit Hilfe eines Trocknungsmittels (Phosphorpentoxid oder Sicapent) bei fortlaufender Kühlung (ca. 7°C) getrocknet. Anschließend wurden die ungestörten REM-Sedimentproben mit einem Zweikomponentenkleber auf REM-Objektträger

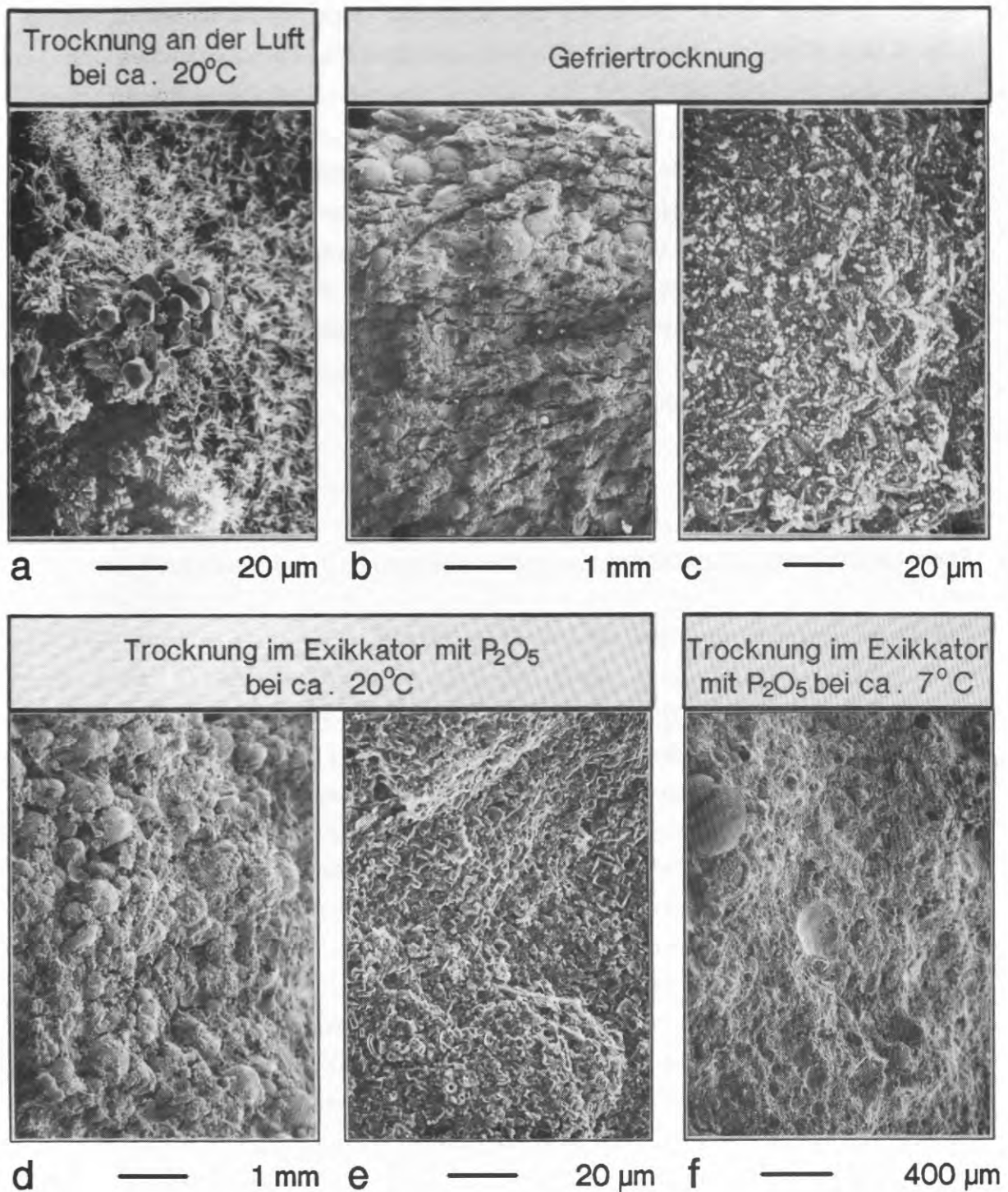


Abb. 8: Unterschiedliche Trocknungsmethoden und deren Auswirkungen auf das Mikrogefüge der Sedimente: Rasterelektronenmikroskop-Aufnahmen von einer kalziumkarbonatreichen Tiefseesedimentprobe aus dem äquatorialen Ostatlantik (Sedimentprofil 16458, 12 cm - 13.5 cm Teufe). Eine detaillierte Beschreibung der Ergebnisse zeigt Tabelle 3.

geklebt, mit Kohle bedampft und mit dem Rasterelektronenmikroskop (CAMBRIDGE REM-Stereoscan S 150, Geologisches-Paläontologisches Institut, Kiel und PHILIPS SEM 515, Alfred Wegener Institut, Bremerhaven) untersucht.

Der Mineralbestand der REM-Sedimentproben wurde ferner mit dem EDAX-System (Energy Dispersive Analysis of X-Rays) am REM semi-quantitativ bestimmt. In Einzelfällen wurde schließlich versucht, die Elementarzusammensetzung einzelner wichtiger Minerale mit der Mikrosonde (CAMEBAX Microbeam CD, Mineralogisch-Petrographisches Institut der Universität Kiel) quantitativ zu messen. Hierzu wurden polierte Dünnschliffe angefertigt und mit Kohle bedampfte.

Stratigraphische Grundlagen

Die Stratigraphie der Sedimentprofile 55-2/3, 56-2, 57-1 und 59-2/3, 60-2, 61-3, 62-1/3, 63-2, 64-2, 65-2/3, 66-2, 67-2, 68-2/3, 69-2, 70-2, 71-2/3, 72-2 und 74-1 beruht auf hochauflösenden $\delta^{18}\text{O}$ -Kurven von *Neoglobobulimina pachyderma* sin. von Vogelsang [1990]. Die isotopenstratigraphische Einstufung wird bei GKG-Profilen 55-2, 59-2, 62-3 und 65-2 zudem von jeweils 3-5 ^{14}C -Altern, gemessen an der Fraktion $>125\ \mu\text{m}$, und durch 12 AMS- ^{14}C -Alter (Accelerator Mass Spectrometry) aus Sedimentkern 71 gestützt [Vogelsang, 1990]. Die übrige Altereinstufung der Sedimentprofile erfolgte nach Fixpunkten in den $\delta^{18}\text{O}$ -Kurven. Hierbei wurden die isotopenstratigraphischen Ereignisse, d.h. in Sedimentprofilen gut identifizierbare $\delta^{18}\text{O}$ -Maxima und -Minima mit analogen Strukturen korreliert, die Imbrie et al. [1984], Prell et al. [1986] und Martinson et al. [1987] global definiert und datiert haben.

Stratigraphische Korrelation von KAL- und GKG-Sedimentprofilen

Bei der Kernentnahme mit Hilfe von Kastenloten zeigte es sich immer wieder, daß die Sedimentoberfläche (bis ca. 30 cm Teufe) entweder stark gestört ist oder sogar fehlt. Dadurch werden die sedimentphysikalischen Messungen nahe der Sedimentoberfläche unmöglich. Außerdem kann deshalb der Nullpunkt im KAL-Profil, also die Sedimentoberfläche durch Bordansprache nur schwierig festgelegt werden. Ein stratigra-

phisch lückenloses Sedimentprofil ist jedoch für die Interpretation der Sedimentparameter unbedingt erforderlich. Daher wurden während der Meteor 2/2-Expedition parallel zu den KAL-Profilen noch GKG-Profile entnommen und engräumig beprobt, in denen die Oberfläche fast immer vollständig erhalten ist.

Korreliert man die Sauerstoffisotopenstratigraphie von GKG- und KAL-Profilen, so verschieben sich die an Bord festgelegten Nullpunkte der KAL-Profile 55-3, 59-3, 65-3, 68-3 und 71-3 um 1 cm bis 20 cm (Tab. 4). Sedimentologische Leithorizonte, z.B. markante Farbwechsel oder Sandlagen, bestätigen diese Korrelation.

Tab. 4: Korrektur der (nach Bordansprache definierten) Nullpunkte in den KAL-Profilen durch isotopenstratigraphische Korrelation mit GKG-Profilen.

Kastenlotprofil	55-3	59-3	65-3	68-3	71-3	74-1
Verschiebung des Nullpunktes um	-20 cm	-10 cm	-16 cm	-1 cm	-10 cm	-20 cm

ERGEBNISSE

Sedimentprofile der Großkastengreifer (makroskopische Sedimentansprache)

Der Aufbau der GKG-Sedimentprofile ist in Abbildung 9a und 9b graphisch zusammengefaßt:

Brauner bis graubrauner Foraminiferenschlamm bildet die Sedimentoberfläche bis 2 cm (Sedimentkerne 58-1 und 63-2) bzw. 34 cm Teufe (Sedimentkern 68-2) in allen GKG-Sedimentprofilen zwischen dem Vøring Plateau und Jan Mayen. Darunter dominieren graue bis graubraune, tonig-siltige oder graue bis graubraune, tonig-sandige Sedimente. Nur die Sedimentprofile 61-3 und 58-2 aus 3276 m und 3534 m Wassertiefe zeigen im Liegenden des Foraminiferenschlamm dunkelgraue, rein tonige Sedimente. Ferner deutet gradierte Schichtung in Sedimentprofil 60-2, zwischen 7 und 26 cm Teufe, auf einen Turbidit im Liegenden des Foraminiferenschlamm hin.

Besonders auffällig sind laminierte, dunkelgraue, siltig-tonige und flasergeschichtete, dunkelgraue, sandig-siltige Sedimenthorizonte. Sie liegen in den Sedimentprofilen 55-2, 60-2 und 68-2 zwischen 27 cm und 31 cm Teufe und in den Sedimentprofilen 67-2 und 69-2 zwischen 31 cm und 38 cm Teufe.

Sedimentprofile der Kastenlote (makroskopische Sedimentansprache)

Eine detaillierte Kernbeschreibung der KAL-Sedimentprofile zeigen Henrich et al. (1989). Im Folgenden werden nur einige wesentliche Züge der Faziesverteilung nochmals zusammengefaßt, die für die Variationen der Scherfestigkeit von Bedeutung sein könnten (vgl. Abb. 10).

Entlang der Jan Mayen Bruchzone und auf dem Vøring Plateau (Sedimentkerne 55-3, 65-3, 68-3, 71-3 und 74-1; vgl. Abb. 1) dominieren dunkelbraune bis olivgraue, siltig-tonige Sedimente, im Lofotenbecken graue, tonige Sedimente und Turbidite (Sedimentkern 58-3) und in der Nähe von Jan Mayen (Sedimentkerne 59-3 und 62-1) dunkelbraune bis olivgraue, sandig-tonige Sedimente.

Im Vergleich zu den relativ homogenen Sedimentprofilen vom Vøring Plateau (Sedimentkerne 71-3 und 74-1) und in der Nähe von Jan Mayen (Sedimentkern 59-3) zeichnen sich die Sedimentprofile entlang der Jan

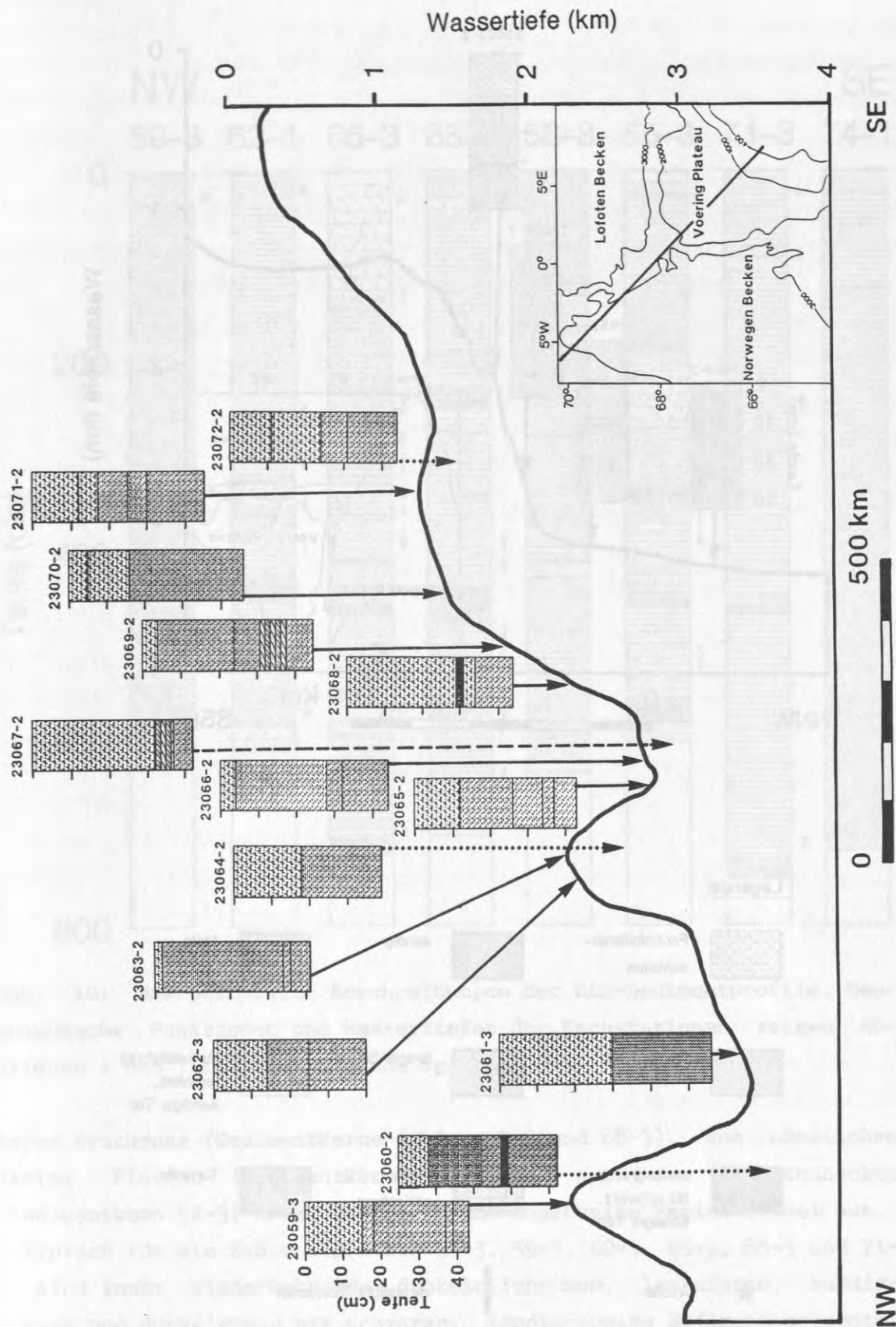
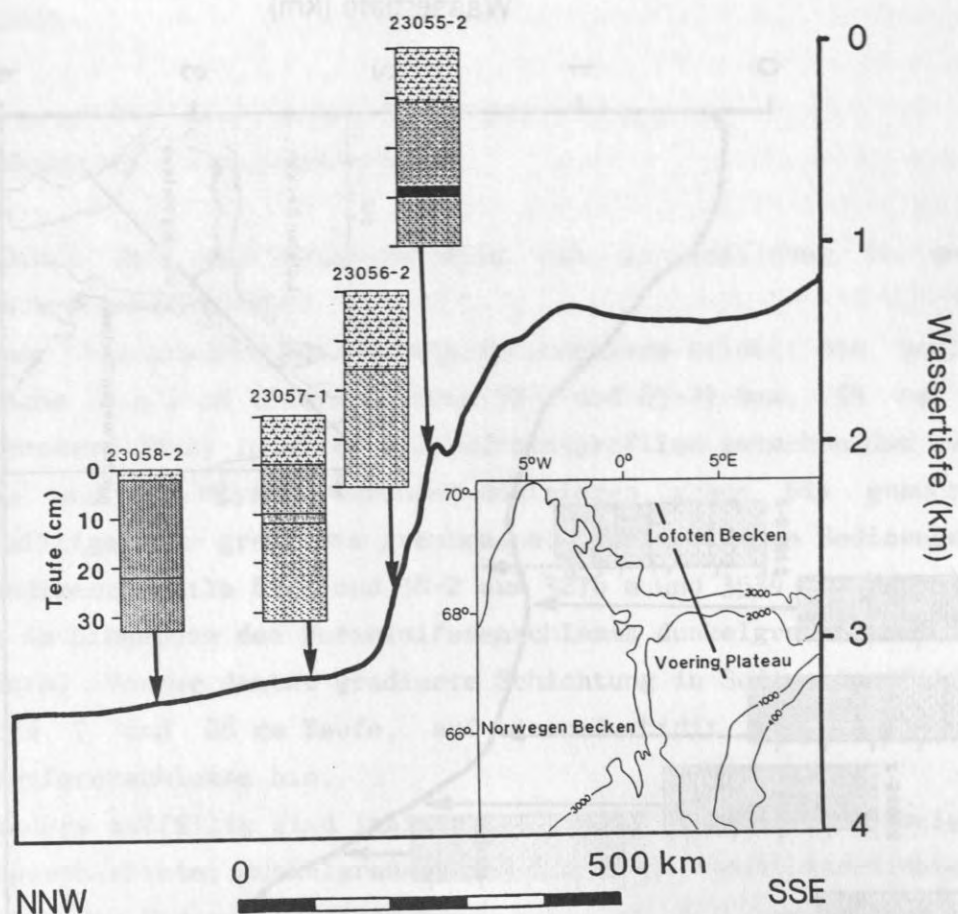


Abb. 9a: Makroskopische Beschreibung der GKG-Sedimentprofile zwischen Vøring Plateau und Jan Mayen. (.....) Kernstationen nördlich der Profil-Linie, (-----) Kernstationen südlich der Profil-Linie auf beigefügter Karte.



Legende:

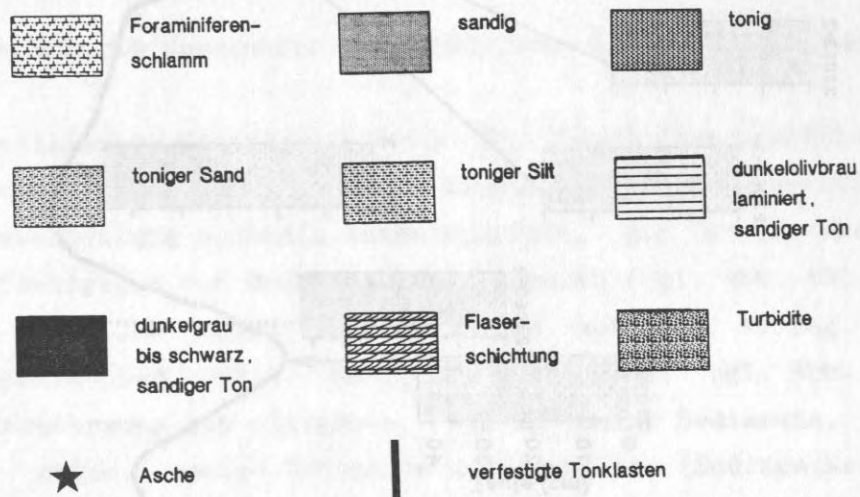


Abb. 9b: Makroskopische Beschreibung der GKG-Sedimentprofile zwischen Vøring Plateau und Lofoten Becken.

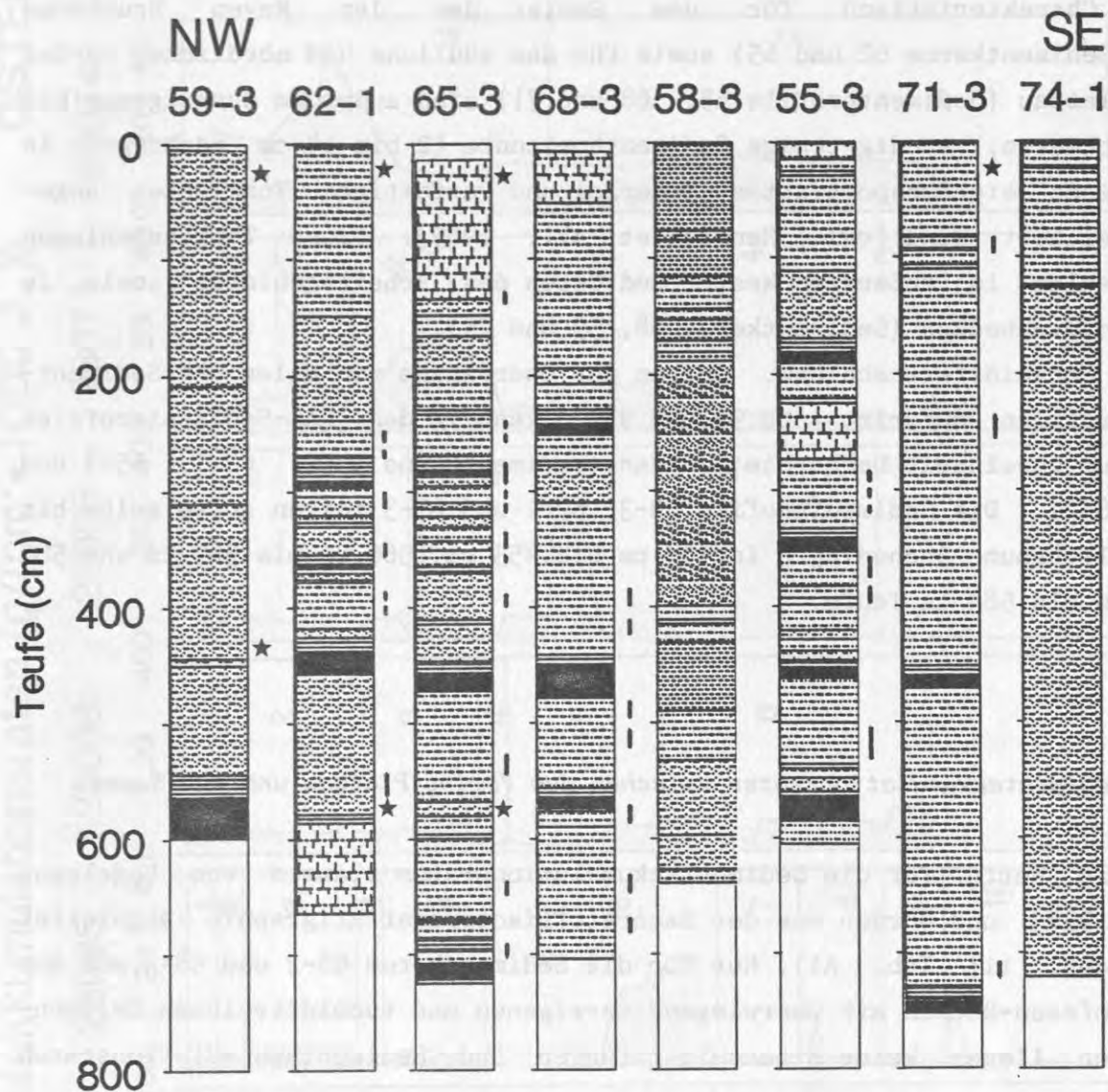


Abb. 10: Makroskopische Beschreibungen der KAL-Sedimentprofile. Geographische Positionen und Wassertiefen der Kernstationen zeigen Abbildung 1 und Tabelle 1 (Legende vgl. Abb 9b).

Mayen Bruchzone (Sedimentkerne 62-1, 65-3 und 68-3), vom nördlichen Vøring Plateau (Sedimentkern 55-3) und aus dem Lofotenbecken (Sedimentkern 58-3) durch deutliche und engräumige Fazieswechsel aus.

Typisch für die Sedimentprofile 55-3, 59-3, 62-1, 65-3, 68-3 und 71-3 sind immer wiederkehrende dunkelolivbraune, laminierte, sandig-tonige und dunkelgraue bis schwarze, sandig-tonige Sedimenthorizonte. Ihre Mächtigkeit schwankt zwischen 8 cm (Kern 71-3) und 29 cm (Sedimentkern 62-1) bzw. zwischen 7 cm (Sedimentkern 55-3) und 40 cm (Sedimentkern 68-3). Bemerkenswert ist, daß diese Sedimenthorizonte in den Sedimentprofilen 74-1 und 58-3 fehlen und im Profil 59-3 nur an

der Kernbasis auftreten.

Charakteristisch für das Gebiet der Jan Mayen Bruchzone (Sedimentkerne 62 und 65) sowie für das südliche und nördliche Vøring Plateau (Sedimentprofile 55, 68 und 71) sind außerdem dunkelgraue bis schwarze, sandig-tonige Sedimenthorizonte (2 bis 14 cm mächtig), in denen eistransportiertes Material und verfestigte Tonklasten angereichert sind [vgl. Henrich et al., 1989]. Diese Tonklastenlagen fehlen im äußersten Westen und Osten des Arbeitsgebietes sowie im Lofotenbecken (Sedimentkerne 58, 59 und 74).

Foraminiferenschlamm, der an der Oberfläche von allen GKG-Sedimentprofilen auftritt (Abb. 9a und 9b), kann in den KAL-Sedimentprofilen nur vereinzelt beobachtet werden (Sedimentkerne 55-2, 62-1, 65-3 und 68-2). Die Sedimentprofile 59-3, 62-1 und 65-3 zeigen zudem gelb- bis olivbraune Aschenlagen in 448 cm bis 453 cm, 566 cm bis 569 cm und 580 cm bis 583 cm Teufe.

Sedimentakkumulationsraten zwischen dem Vøring-Plateau und Jan Mayen

Die Werte für die Sedimentakkumulationsraten stammen von Vogelsang [1990] und wurden aus der Sauerstoffisotopenstratigraphie abgeleitet (Abb. 11; Tab. A1). Nur für die Sedimentkerne 58-2 und 58-3 aus dem Lofoten-Becken mit überwiegend terrigenen und turbiditreichen Sedimenten liegen keine Alterseinstufungen und Sedimentakkumulationsraten vor.

Ein maximales Alter von 373.000 Jahren wurde nach Vogelsang [1990] im Sedimentkern 65 in 717 cm Teufe mit dem Sauerstoffisotopenstadium 10 erreicht (Abb. 11). Die Basis von Sedimentkern 74 (692 cm Teufe) vom südlichen Vøring-Plateau erreichte dagegen nur das Sauerstoffisotopenstadium 3 (Abb. 11). Hieraus resultieren relativ hohe Sedimentakkumulationsraten auf dem südlichen Vøring-Plateau und niedrige in der Nähe von Jan Mayen (Abb. 11). Insgesamt nahmen die mittleren Sedimentakkumulationsraten (gemittelt über die Stadien 1, 2 und 3) vom Vøring-Plateau in Richtung auf Jan Mayen von $16.9 \text{ g}/(\text{cm}^2 \cdot 1000 \text{ J.})$ (Sedimentkern 74) auf $2.4 \text{ g}/(\text{cm}^2 \cdot 1000 \text{ J.})$ (Sedimentkern 59) deutlich ab, wobei die Sedimentakkumulationsraten innerhalb der Sauerstoffisotopenstadien stark schwankten (Abb. 11).

Bemerkenswert hoch waren die Sedimentakkumulationsraten auf dem südlichen Vøring-Plateau (Sedimentkerne 71 und 74) im Vergleich zum

nördlichen Vøring-Plateau (Sedimentkern 55, Abb. 11). Spitzenwerte für die Sedimentakkumulationsraten wurden hier im Sedimentkern 74 bei 122 cm Teufe mit $43.8 \text{ g}/(\text{cm}^2 \cdot 1000 \text{ J.})$ erreicht. Außergewöhnlich hohe Sedimentakkumulationsraten, bis $35 \text{ g}/(\text{cm}^2 \cdot 1000 \text{ J.})$ (Sedimentkern 55), wurden ebenfalls zu Beginn des Sauerstoffisotopenstadiums 6 (Abb. 11, Tab. 6) und in einem Fall im späten Stadium 6 erreicht (Sedimentkern 55, $28 \text{ g}/(\text{cm}^2 \cdot 1000 \text{ J.})$).

Regionale Verteilungsmuster der Scherfestigkeit in Oberflächensedimenten aus der Norwegischen See

Um das Verteilungsmuster der Scherfestigkeit in den Oberflächensedimenten der Norwegischen See zu zeigen, wurde jeweils über die oberen 10 cm der GKG-Sedimentprofile gemittelt, da in diesen Sedimenten Veränderungen der Scherfestigkeit durch frühdiagenetische Zementation noch weitgehend ausgeschlossen werden können [Kassens und Sarnthein, 1989].

In diesen eigentlich spätholozänen Sedimenten schwanken die durchschnittlichen Scherfestigkeitswerte zwischen 1.5 kPa (Sedimentkern 58) und 4.8 kPa (Sedimentkern 63) (Abb. 12). Generell zeigen die Sedimente vom Vøring-Plateau (Sedimentkerne 70, 71 und 72) und aus großen Wassertiefen (Sedimentkerne 57, 58 und 61) niedrigere Scherfestigkeitswerte als jene vom Vøring-Plateau Hang und anderen Kuppen (Abb. 12).

Abb. 12: Regionale Verteilung von Scherfestigkeitswerten, CaCO_3 -Gehalten, Korngrößenverteilungen und Sedimentakkumulationsraten in Oberflächensedimenten aus der Norwegischen See bis 10 cm Teufe. Von jedem Sedimentprofil wird der Durchschnittswert für die oberen 10 cm dargestellt. (a) Entlang eines Profils zwischen dem Vøring-Plateau und Jan Mayen. (b) Entlang eines Profils zwischen dem Vøring-Plateau und dem Lofoten-Becken. (c) Korrelation in den Oberflächensedimenten zwischen: CaCO_3 -Gehalten und Scherfestigkeitswerten; CaCO_3 -Gehalten und Sedimentakkumulationsraten sowie CaCO_3 - und Sandgehalten (Fraktion $>63\mu\text{m}$).

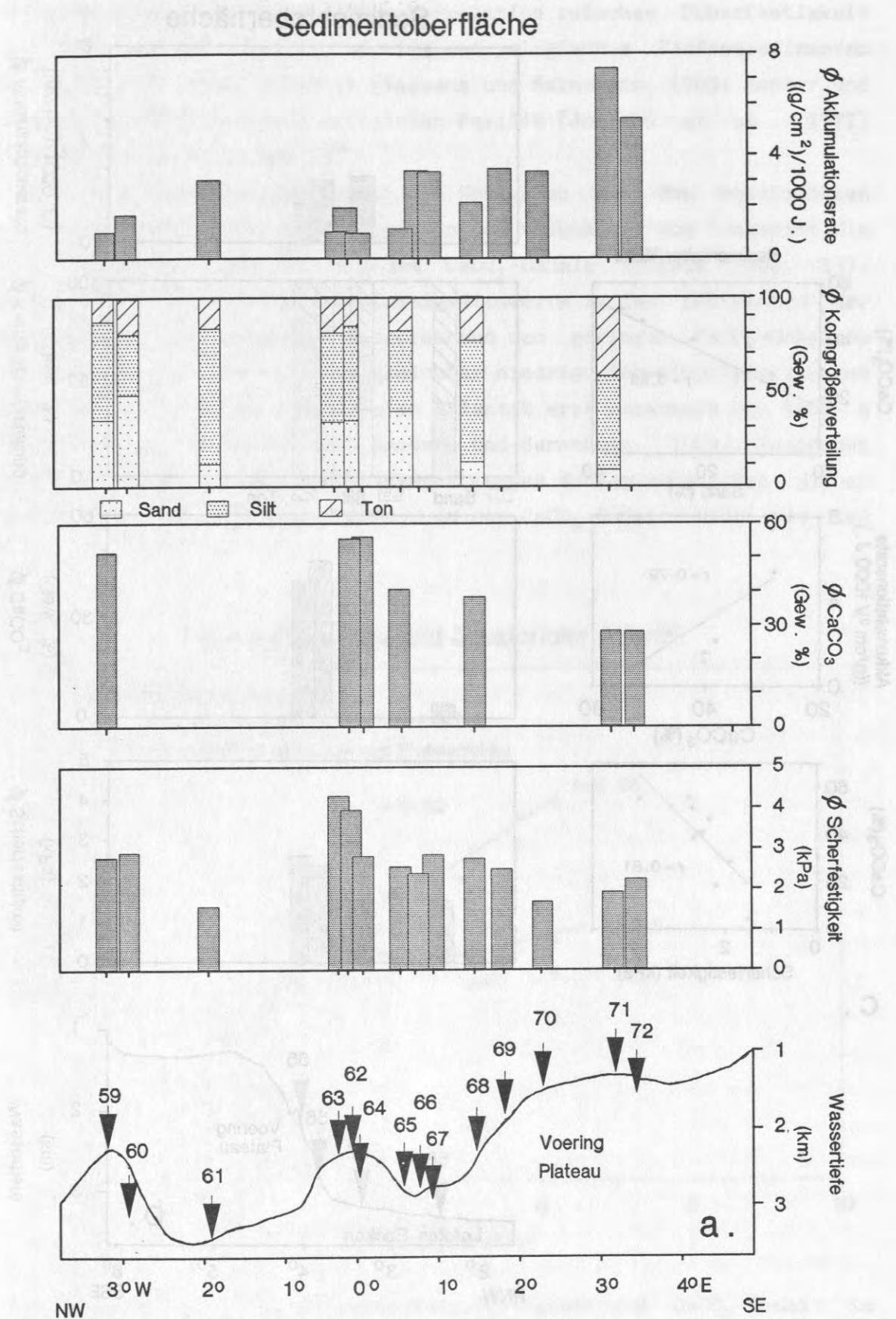
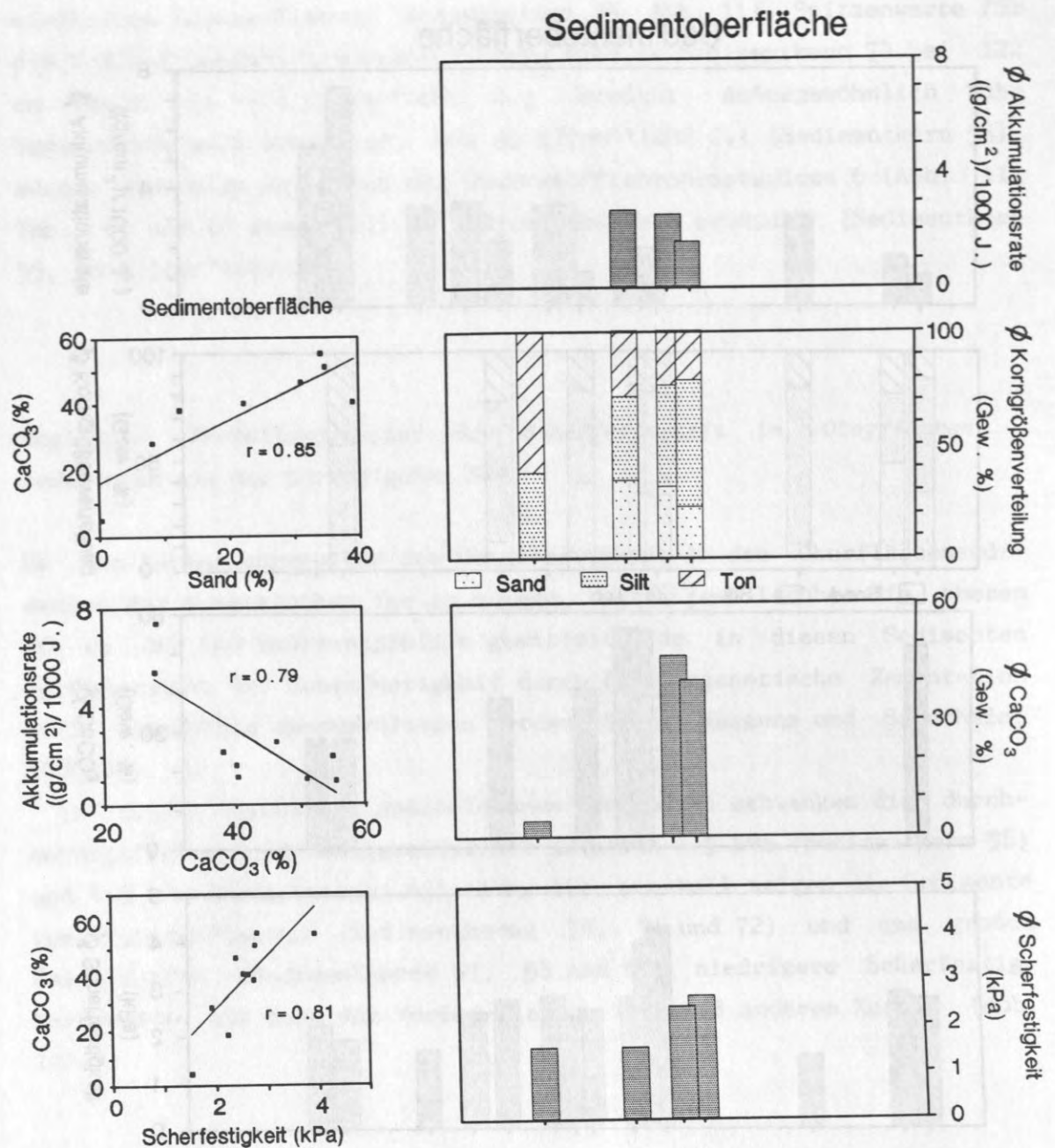


Abb. 12a:



C.

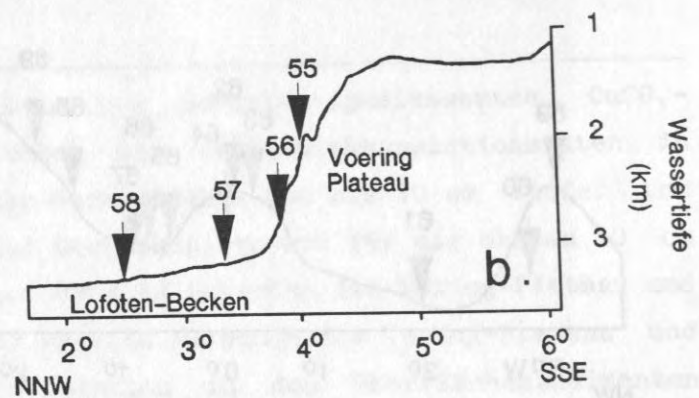


Abb. 12b und 12c:

Bemerkenswert ist die positive Korrelation zwischen Scherfestigkeit und CaCO_3 -Gehalt, wie sie bereits von pelagischen Tiefseesedimenten aus dem äquatorialen Atlantik [Kassens und Sarnthein, 1989; Kenter und Schlager, 1989] und dem westlichen Pazifik [Johnson et al., 1977] bekannt ist (Abb. 12 und 13).

Die gute Übereinstimmung mit den Meßwerten aus dem äquatorialen Atlantik bedeutet, daß ganz allgemein und unabhängig vom Seegebiet die Scherfestigkeit parallel mit dem CaCO_3 -Gehalt zunimmt (Abb. 13). Folgerichtig liegen die Scherfestigkeitswerte in den Sedimenten der Norwegischen See insgesamt entsprechend den geringen CaCO_3 -Gehalten relativ niedrig (Abb. 13). Vergleichbar niedrige Scherfestigkeits- und CaCO_3 -Werte treten im äquatorialen Atlantik erst unterhalb von 4200 m im Bereich der Lysokline auf [Kassens und Sarnthein, 1989]. Insgesamt schwanken die Scherfestigkeitswerte in der Norwegischen See jedoch unabhängig von der Wassertiefe, da der CaCO_3 -Gehalt hier mit den

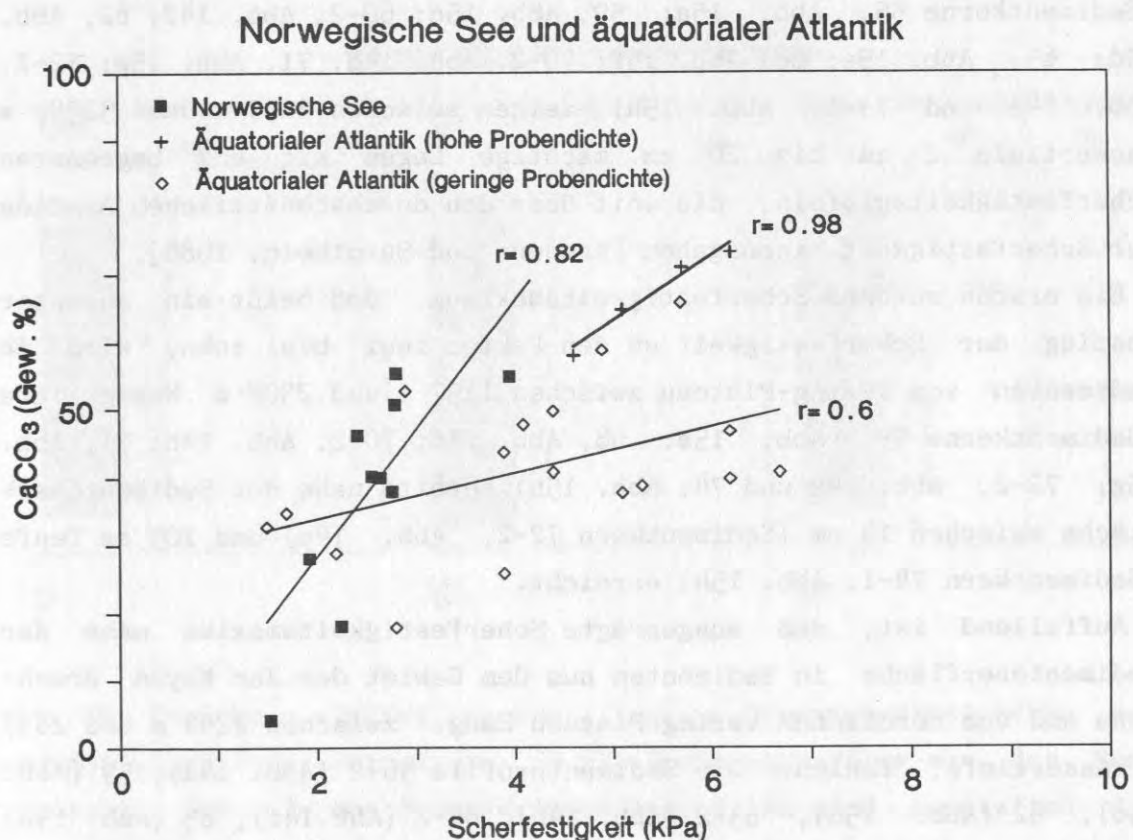


Abb. 13: Korrelation zwischen Scherfestigkeit und CaCO_3 -Gehalt in Oberflächensedimenten der Norwegischen See und des äquatorialen Atlantiks. Bei jedem Datenpunkt wurde über die oberen 10 cm des jeweiligen Sedimentprofils gemittelt.

Sedimentakkumulationsraten parallel geht (Abb. 12). Im Durchschnitt steigt die Scherfestigkeit um 1 kPa pro 20 % Zunahme des CaCO_3 -Gehaltes, ein Betrag, der doppelt so hoch ist wie im äquatorialen Atlantik (GKG-Profile mit hoher Probendichte) und westlichen Pazifik (Abb. 13).

In den Oberflächensedimenten der Norwegischen See besteht, wie für pelagische Sedimente allgemein bekannt, eine gute Korrelation zwischen dem Anteil des CaCO_3 -Gehaltes und der Fraktion größer als $63 \mu\text{m}$ (Abb. 15) [u.a. Cita und Spezzibottiani, 1979]. Der Karbonateffekt ist hier somit auch ein Korngrößeneffekt.

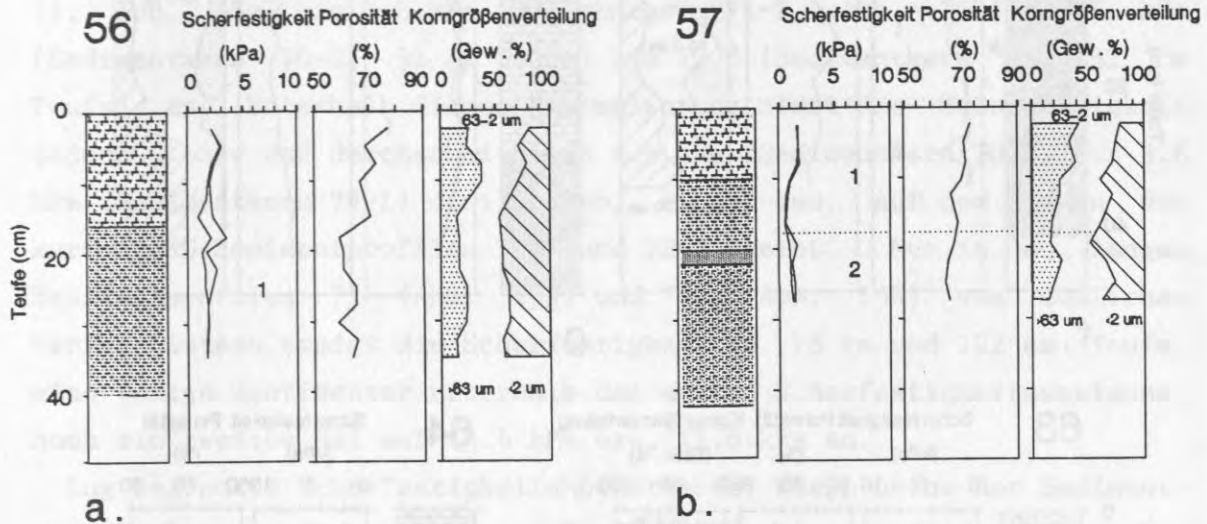
Vertikale Verteilungsmuster der Scherfestigkeit in Sedimentkernen aus der Norwegischen See

Die meisten hemipelagischen Sedimentprofile aus der Norwegischen See (Sedimentkerne 55, Abb. 15a; 59, Abb. 15c; 60-2, Abb. 14f; 62, Abb. 15d; 65, Abb. 15e; 68, Abb. 15f; 70-2, Abb. 14d; 71, Abb. 15g; 72-2, Abb. 14e und 74-1, Abb. 15h) zeigen zwischen 1157 m und 3239 m Wassertiefe 2 cm bis 20 cm mächtige Lagen mit eng begrenzten Scherfestigkeitsgipfeln, die weit über den durchschnittlichen Anstieg der Scherfestigkeit hinausgehen [Kassens und Sarnthein, 1989].

Ein erstes solches Scherfestigkeitsmaximum, daß heißt ein abrupter Anstieg der Scherfestigkeit um den Faktor zwei bis zehn, wird in Sedimenten vom Vøring-Plateau zwischen 1157 m und 2308 m Wassertiefe (Sedimentkerne 55, Abb. 15a; 68, Abb. 15f; 70-2, Abb. 14d; 71, Abb. 15g; 72-2, Abb. 14e und 74, Abb. 15h) bereits nahe der Sedimentoberfläche zwischen 14 cm (Sedimentkern 72-2, Abb. 14e) und 103 cm Teufe (Sedimentkern 74-1, Abb. 15h) erreicht.

Auffallend ist, daß ausgeprägte Scherfestigkeitsmaxima nahe der Sedimentoberfläche in Sedimenten aus dem Gebiet der Jan Mayen Bruchzone und vom nördlichen Vøring Plateau Hang, zwischen 2244 m und 2837 m Wassertiefe, fehlen. Die Sedimentprofile 56-2 (Abb. 14a), 59 (Abb. 15c), 62 (Abb. 15d), 63-2 (Abb. 14h), 64-2 (Abb. 14i), 65 (Abb. 15e) und 67-2 (Abb. 14k) zeigen dort nur einen leichten Anstieg der durchschnittlichen Scherfestigkeit in geringmächtigen Sedimenthorizonten. Eine Ausnahme bildet Sedimentprofil 60-2 (Abb. 14f) aus 3229 m Wassertiefe, wo sich die Scherfestigkeit ruckartig in 30 cm Teufe verdoppelt.

Nördliches Voering-Plateau



Südliches Voering-Plateau

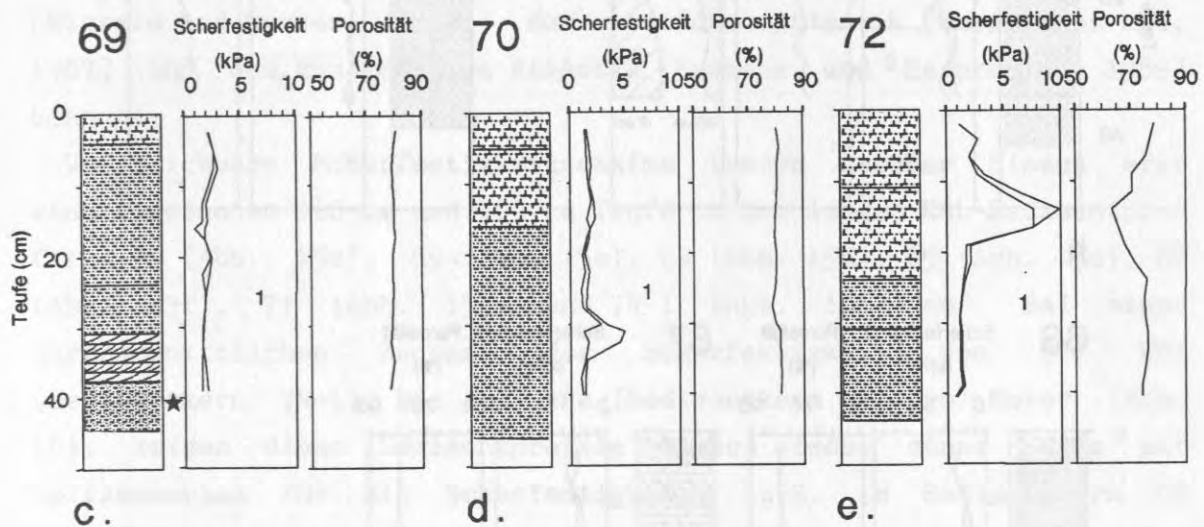


Abb. 14: Vertikale Verteilung von einigen sedimentphysikalischen und sedimentologischen Parametern in GKG-Sedimentprofilen aus der Norwegischen See. In den Scherfestigkeitsprofilen sind zusätzlich die Sauerstoffisotopenstadien dargestellt, punktierte Linien markieren jeweils die Grenzen [nach Vogelsang, 1990]. Legende zur Kernbeschreibung siehe Abbildung 9. Sterne kennzeichnen Aschenlagen. (a) 56-2, (b) 57-1, (c) 69-2, (d) 70-2, (e) 72-2, (f) 60-2, (g) 61-3, (h) 63-2, (i) 64-2, (j) 66-2, (k) 67-2.

60



Abb. 14: Fortsetzung

Typisch für die oberflächennahen Sedimentprofile vom Vøring-Plateau (Sedimentkerne 55, 68, 70-2, 71, 72-2 und 74-1 bis maximal 150 cm Teufe) ist dabei folgendes Scherfestigkeitsprofil:

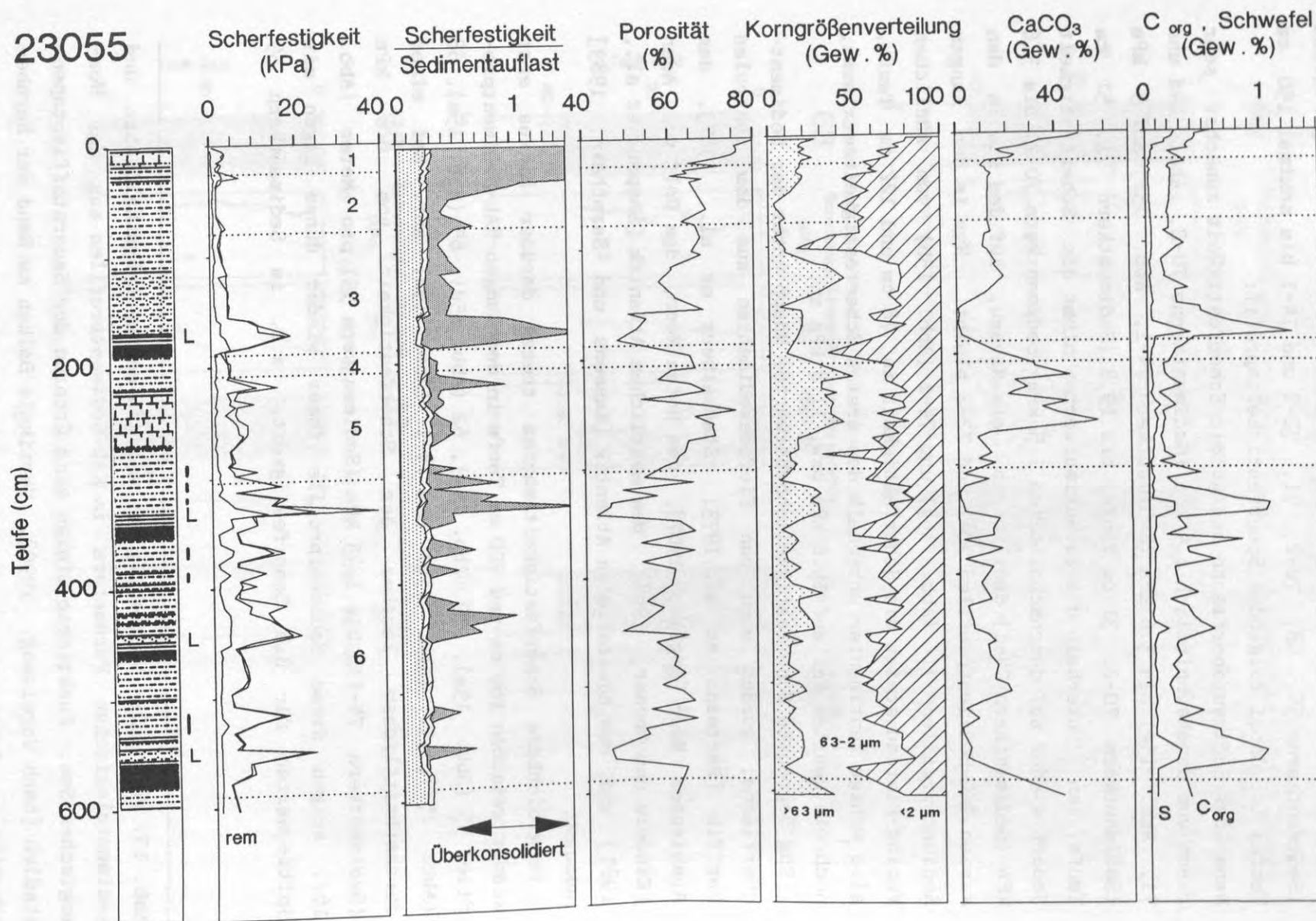
Nahe der Sedimentoberfläche steigt die Scherfestigkeit zunächst sehr rasch von durchschnittlich 1.4 kPa (Sedimentkerne 70-2, Abb. 14d und 71, Abb. 15g) bis 3.6 kPa (Sedimentkern 74-1, Abb. 15h) auf 5 kPa (Sedimentkern 70-2, 31 cm Teufe) bis 19.8 (Sedimentkern 71, 51 cm Teufe) an. Unterhalb dieses Maximalwertes nimmt die Scherfestigkeit jedoch wieder auf durchschnittlich 1.5 kPa (Sedimentkern 70-2) bis 3.6 kPa (Sedimentkern 74-1) deutlich ab, ein Niveau, auf dem sie in den kurzen GKG-Sedimentprofilen 70-2 und 72-2 bleibt. Nur in den langen Sedimentprofilen 71 (Abb. 15g) und 74-1 (Abb. 15h) vom südlichen Vøring-Plateau steigt die Scherfestigkeit in 78 cm und 122 cm Teufe, also wenige Zentimeter unterhalb des ersten Scherfestigkeitsmaximums, noch ein zweites Mal auf 15.6 kPa bzw. 11.8 kPa an.

Eng begrenzte Scherfestigkeitshöchstwerte, knapp unter der Sedimentoberfläche, wurden auch von Tiefseesedimenten aus dem zentralen Pazifik [Hartmann et al., 1973; Stackelberg et al., 1987], dem Arabischen Meer [Kögler, 1967], dem Roten Meer, dem Golf von Aden [Einsele und Werner, 1968], dem westlichen Atlantik [Shepard et al., 1987] und dem äquatorialen Atlantik [Kassens und Sarnthein, 1989] bekannt.

Vergleichbare Scherfestigkeitsmaxima treten darüber hinaus erst wieder zwischen 180 cm und 700 cm Teufe in den langen KAL-Sedimentprofilen 55 (Abb. 15a), 59 (Abb. 15c), 62 (Abb. 15d), 65 (Abb. 15e), 68 (Abb. 15f), 71 (Abb. 15g) und 74-1 (Abb. 15h) auf. Bei einer durchschnittlichen Zunahme der Scherfestigkeit von 0.6 kPa (Sedimentkern 74-1) bis 1.43 kPa (Sedimentkern 55) pro Meter (Abb. 16), zeigen diese Sedimentprofile immer wieder dünne Lagen mit Spitzenwerten für die Scherfestigkeit, z.B. im Sedimentkern 59

Abb. 15: Vertikale Verteilung von einigen sedimentphysikalischen und sedimentologischen Parametern in KAL-Sedimentprofilen aus der Norwegischen See. Punktierte Linien sind Grenzen der Sauerstoffisotopenstadien [nach Vogelsang, 1990]. Vertikale Balken am Rand der Kernbeschreibung: Sedimenthorizonte mit Tonklasten; Sterne: Aschenlagen; L: Laminierter Sedimenthorizonte. Schraffiertes Feld im c_u/p_o -Diagramm kennzeichnet den 'normalen' Konsolidierungsgrad der Sedimente.

Abb. 15a: Sedimentprofil 55 vom Vøring-Plateau.



23058

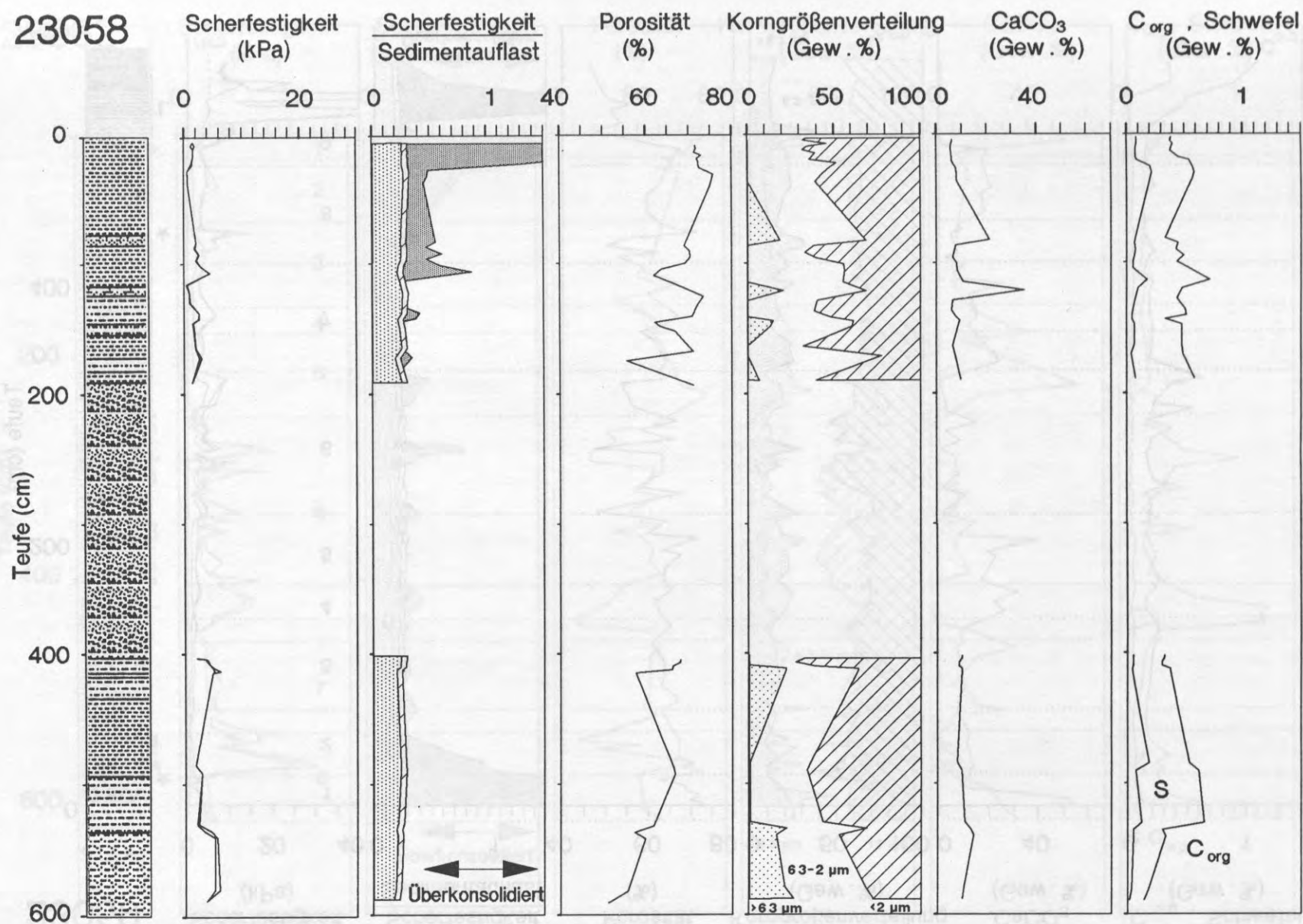


Abb. 15b: Sedimentprofil 58 aus dem Lofoten-Becken.

Abb. 15c: Sedimentprofil 59 aus dem Gebiet der Jan Mayen Bruchzone.

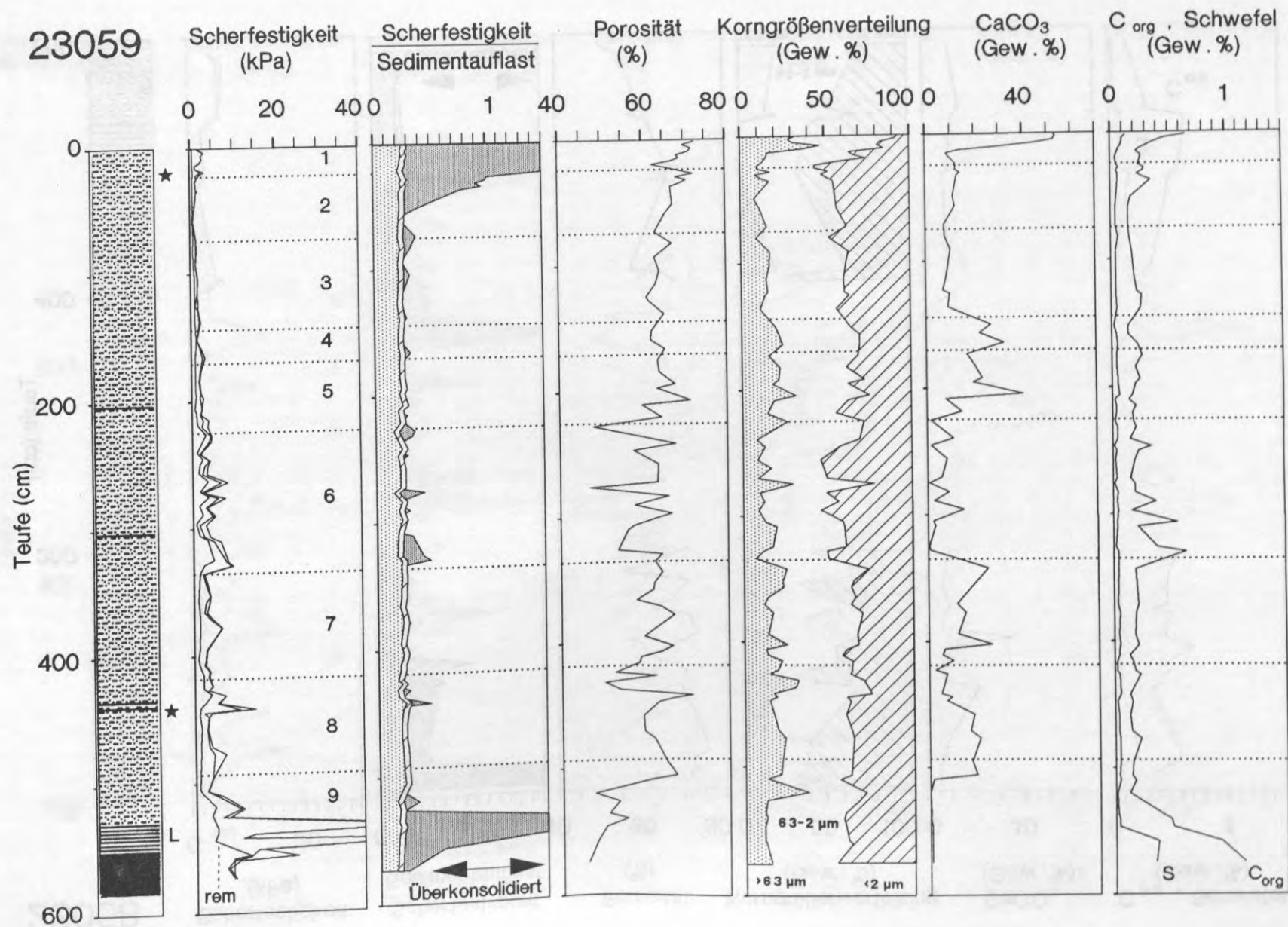
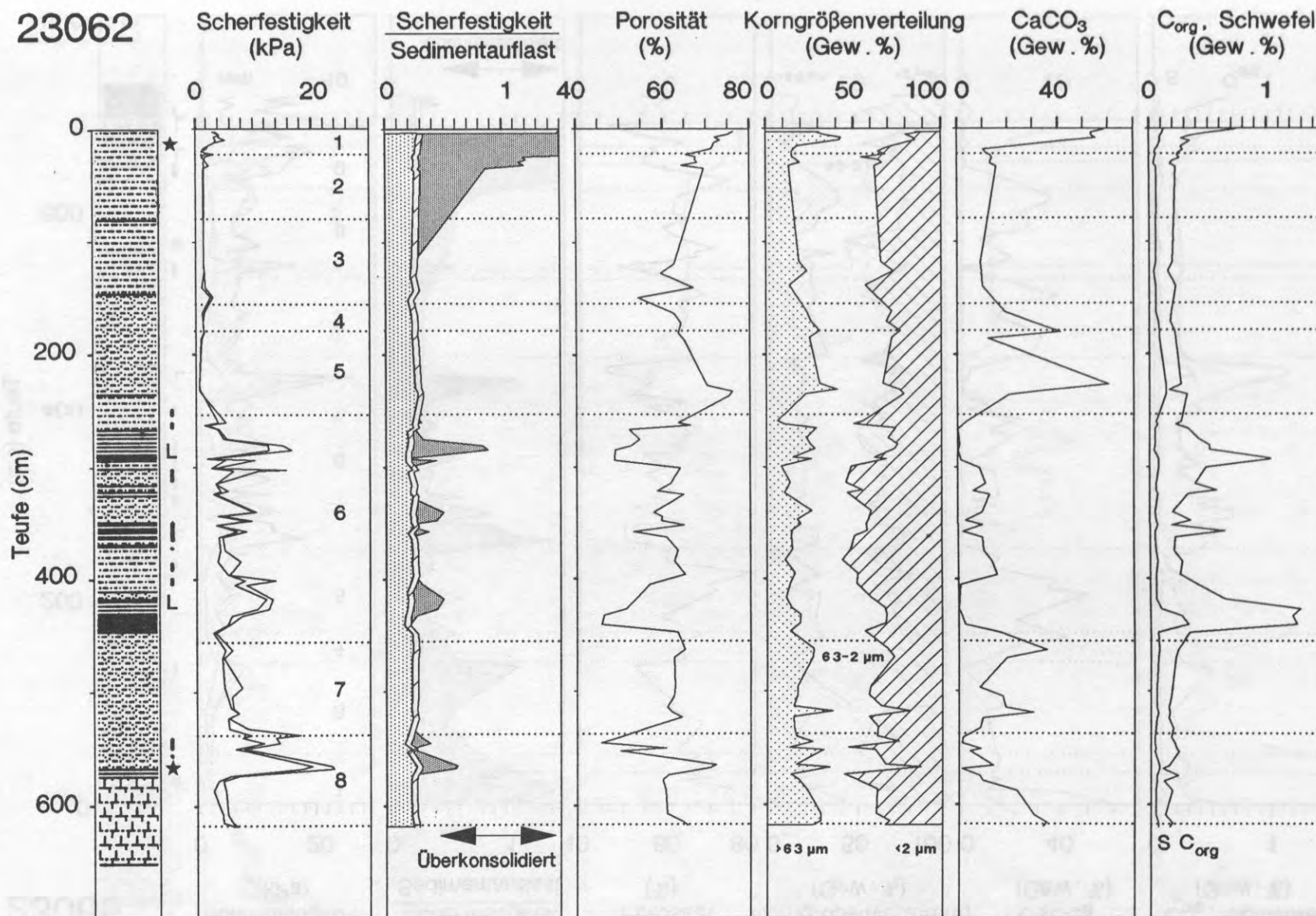


Abb. 15d: Sedimentprofil 62 aus dem Gebiet der Jan Mayen Bruchzone.



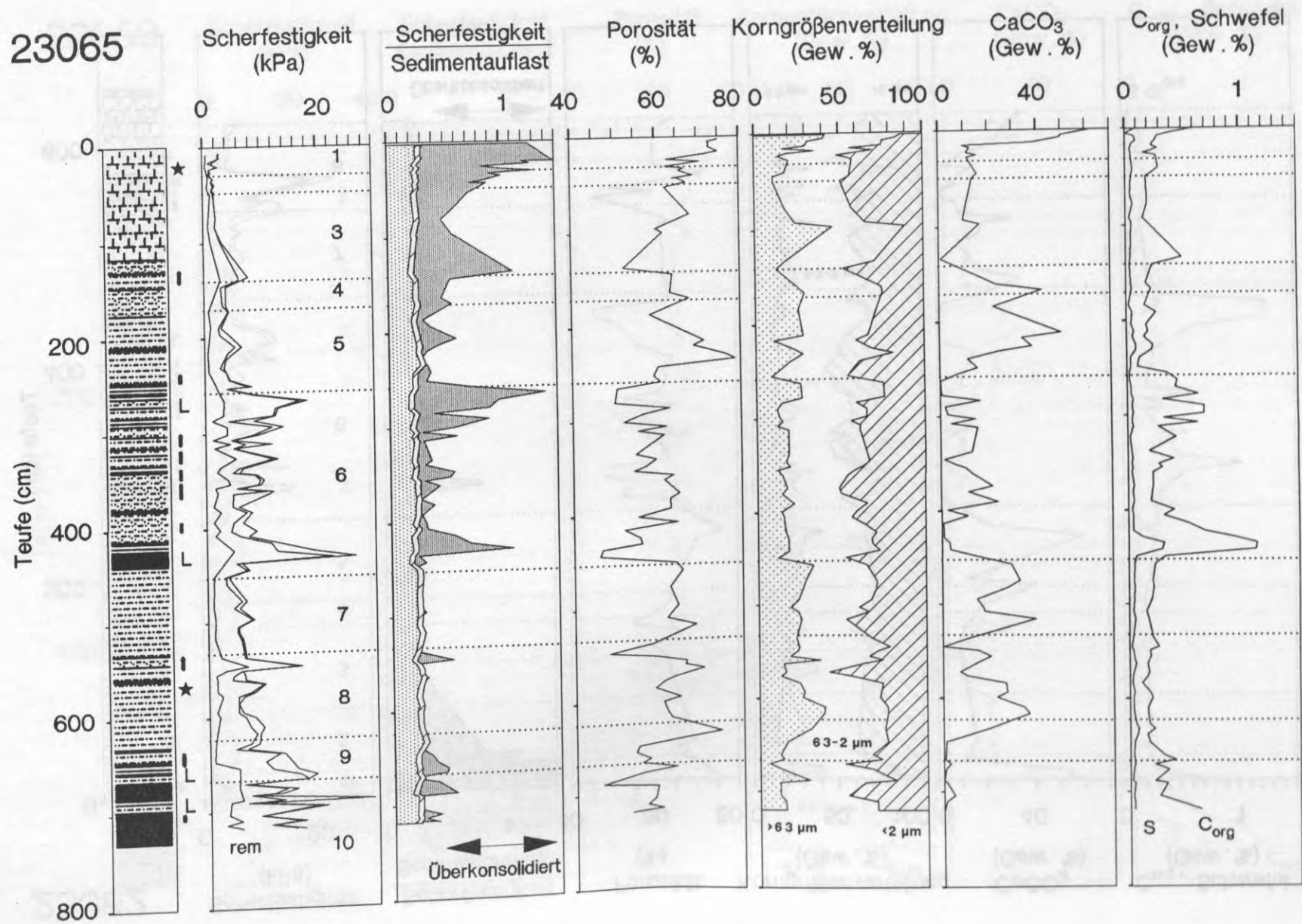


Abb. 15e: Sedimentprofil 65 aus dem Gebiet der Jan Mayen Bruchzone.

Abb. 15f: Sedimentprofil 68 vom südlichen Vøring-Plateau Hang.

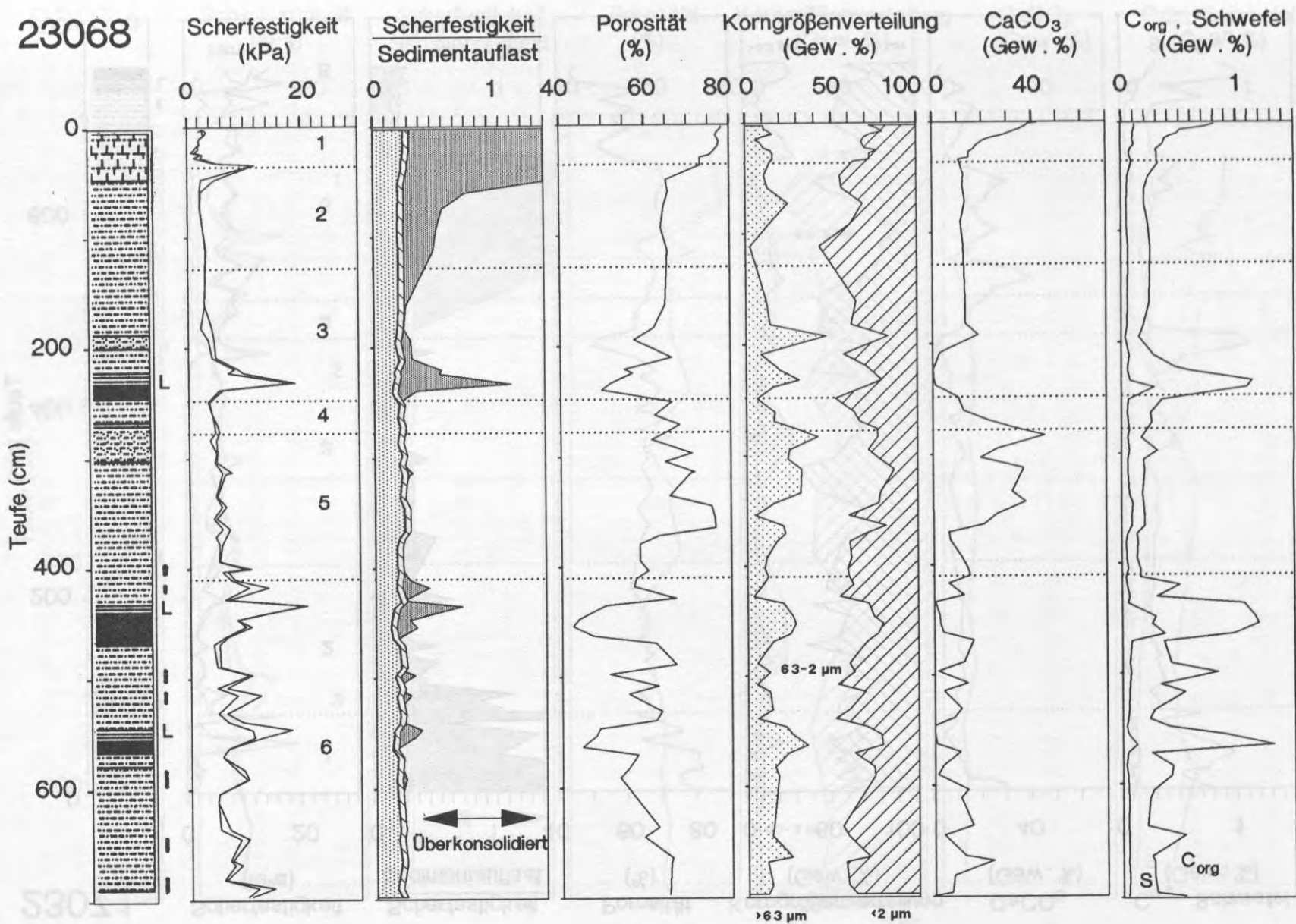
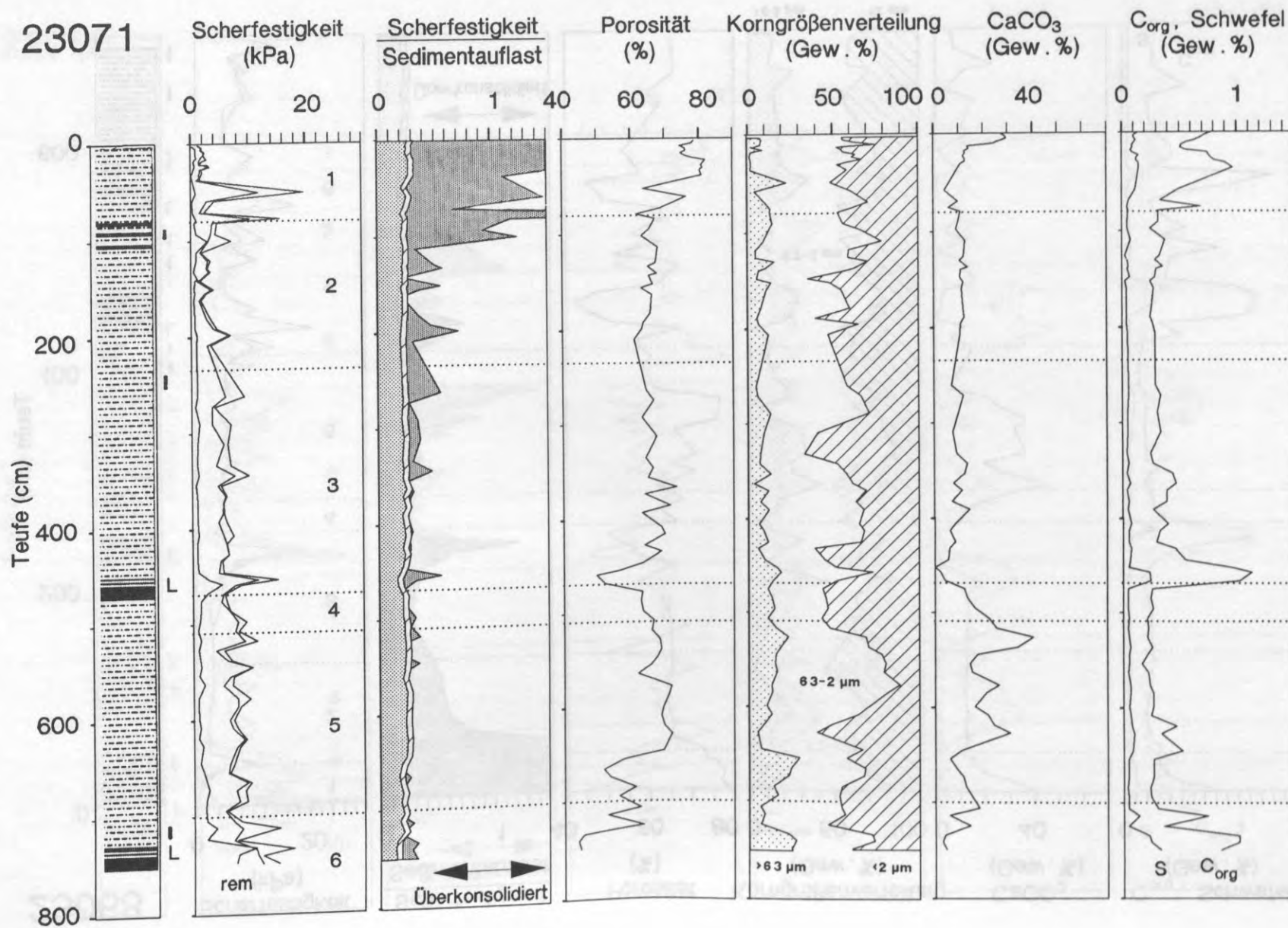


Abb. 15g: Sedimentprofil 71 vom südlichen Vøring-Plateau.



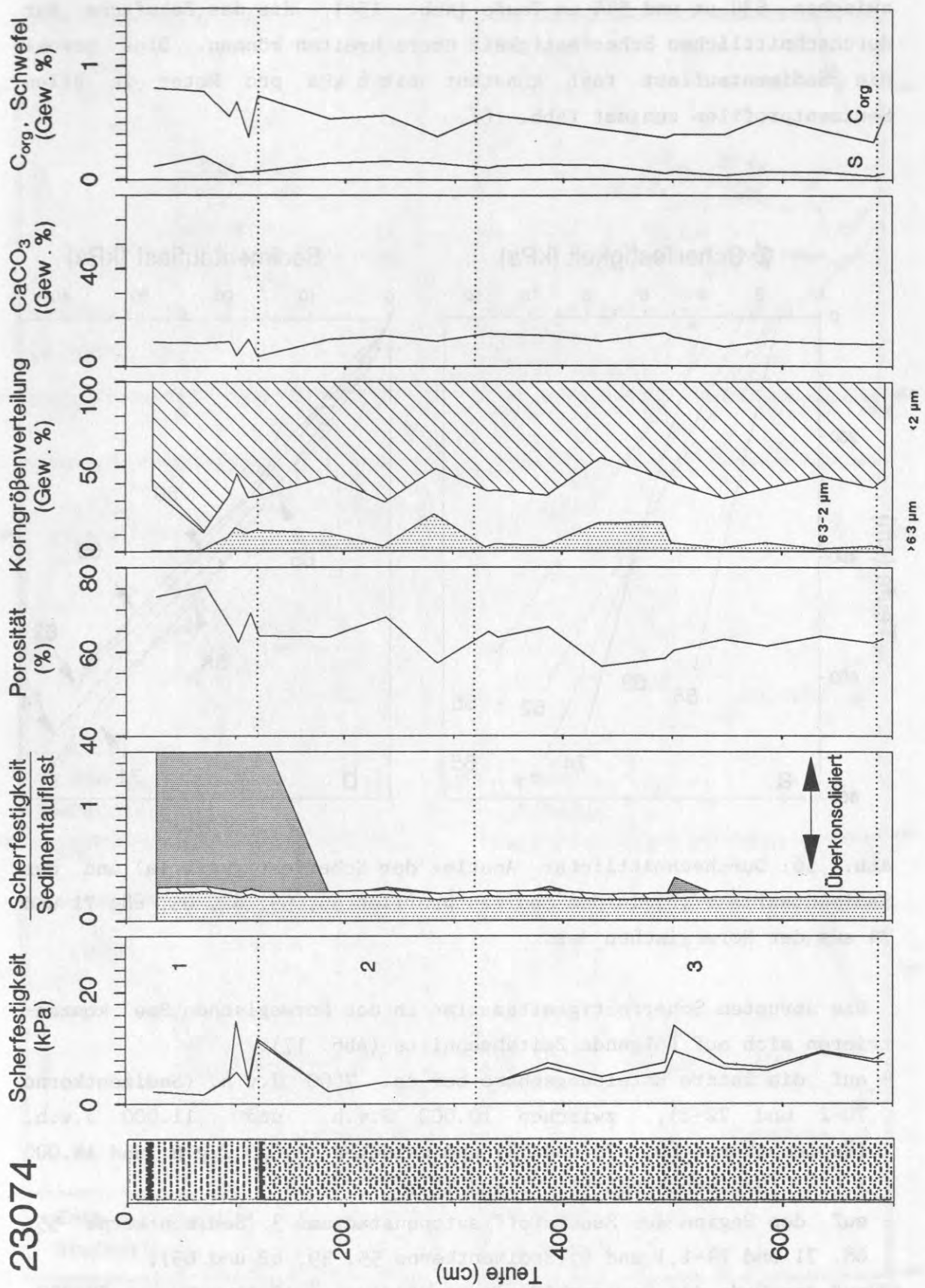


Abb. 15h: Sedimentprofil 74 vom südlichen Vøring-Plateau.

zwischen 534 cm und 544 cm Teufe (Abb. 15c), die das Zehnfache der durchschnittlichen Scherfestigkeit überschreiten können. Dies obwohl die Sedimentauflast fast konstant mit 6 kPa pro Meter in allen Sedimentprofilen zunimmt (Abb. 16).

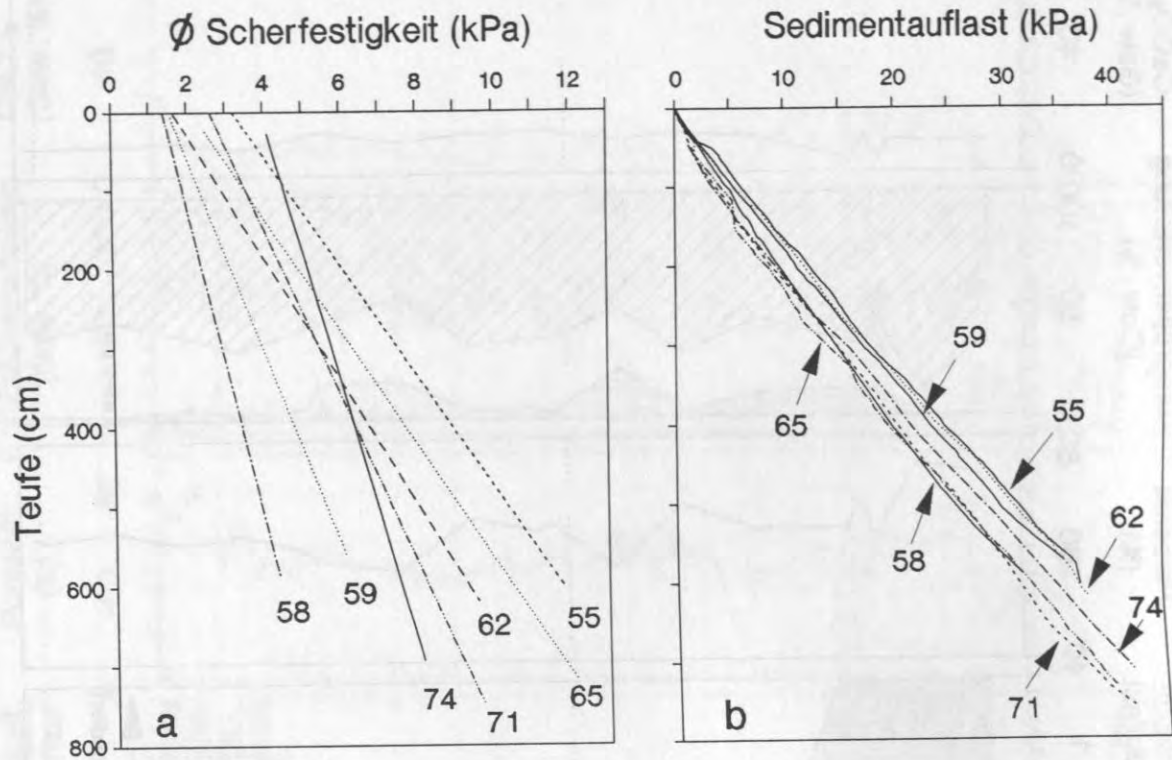


Abb. 16: Durchschnittlicher Anstieg der Scherfestigkeit (a) und der Sedimentauflast (b) in den Sedimentprofilen 55, 59, 62, 65, 68, 71 und 74 aus der Norwegischen See.

Die abrupten Scherfestigkeitsmaxima in der Norwegischen See konzentrieren sich auf folgende Zeitabschnitte (Abb. 17):

- auf die letzte Enteisungsphase bei ca. 7000 J.v.h. (Sedimentkerne 70-2 und 72-2), zwischen 10.000 J.v.h. und 11.000 J.v.h. (Sedimentkerne 68, 71 und 74) und zwischen 13.000 J.v.h. und 14.000 J.v.h. (Sedimentkerne 55, 71 und 74);
- auf den Beginn des Sauerstoffisotopenstadiums 3 (Sedimentkerne 55, 68, 71 und 74-1,) und 6 (Sedimentkerne 55, 59, 62 und 65);
- auf das Ende des Sauerstoffisotopenstadiums 6 (Sedimentkerne 55, 59, 62, 65, 68 und 71), 8 (Sedimentkerne 59, 62 und 65) und 10 (Sedimentkern 65);
- und auf das Sauerstoffisotopenstadium 9 (Sedimentkerne 59 und 65).

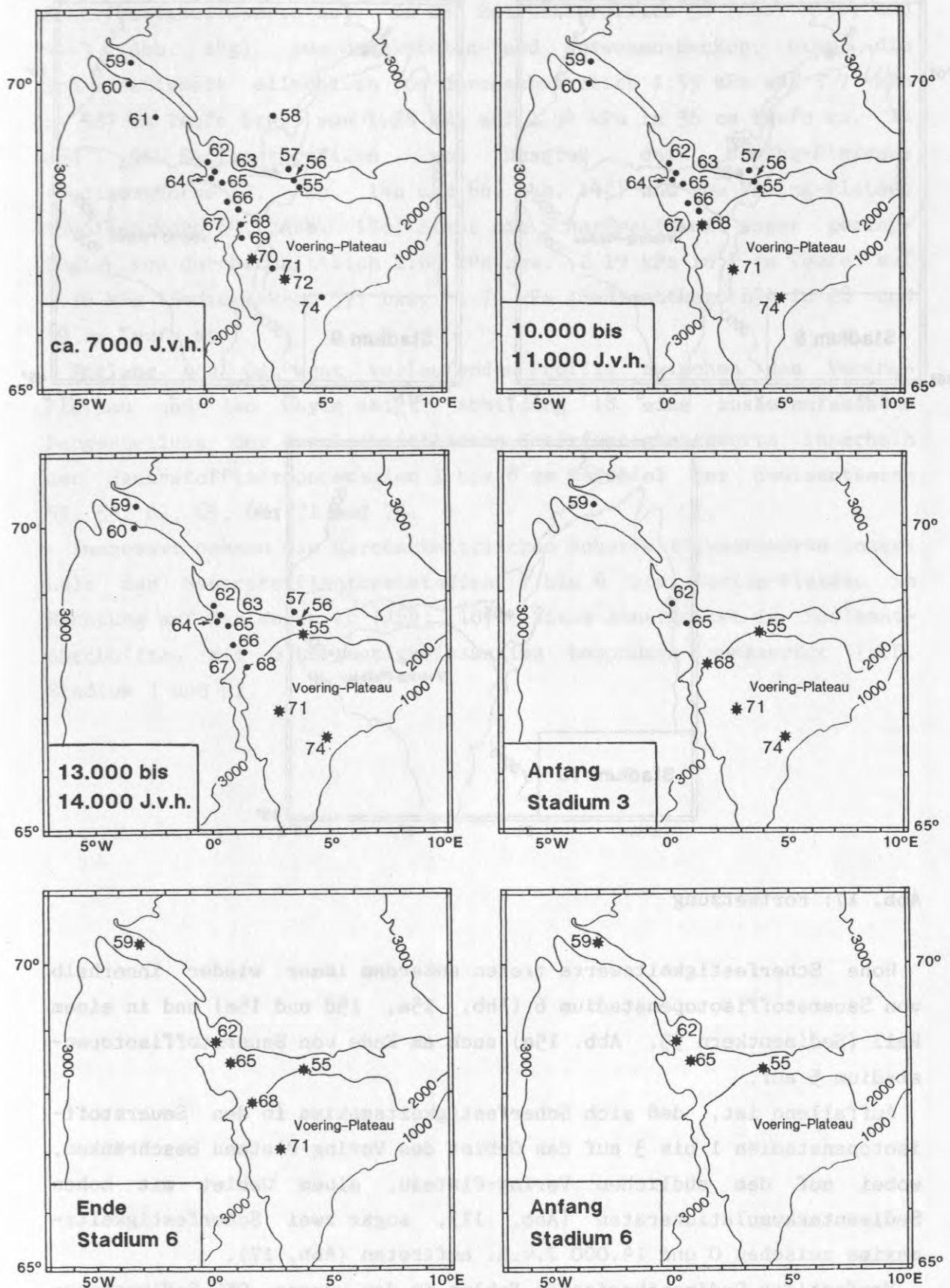


Abb. 17: Verbreitung der Scherfestigkeitsmaxima in den Sedimenten der Norwegischen See während der Sauerstoffisotopenstadien 1 bis 10. Sterne markieren Sedimentprofile mit Scherfestigkeitsmaxima.

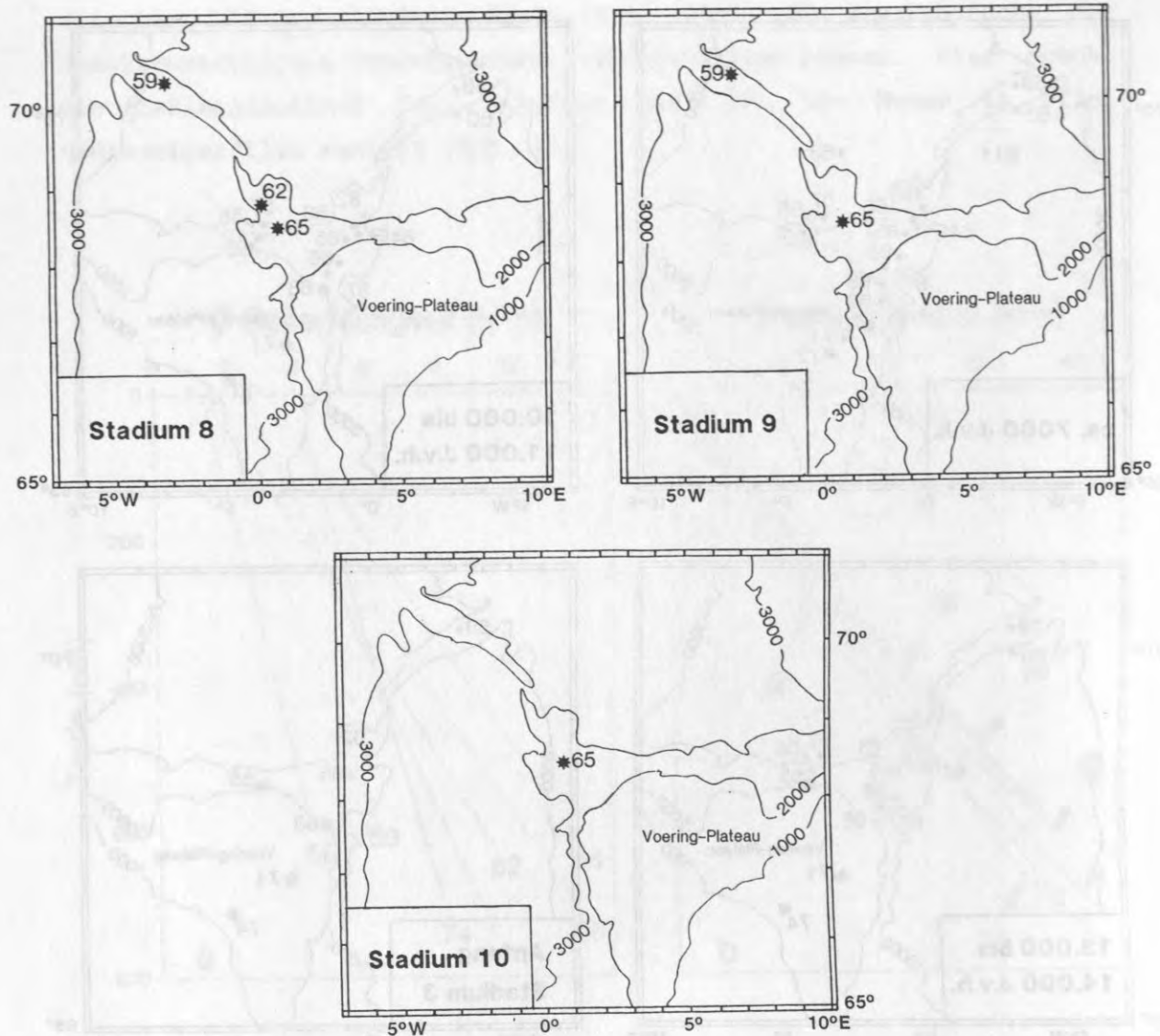


Abb. 17: Fortsetzung

Hohe Scherfestigkeitswerte treten außerdem immer wieder innerhalb von Sauerstoffisotopenstadium 6 (Abb. 15a, 15d und 15e) und in einem Fall (Sedimentkern 55, Abb. 15a) auch am Ende von Sauerstoffisotopenstadium 5 auf.

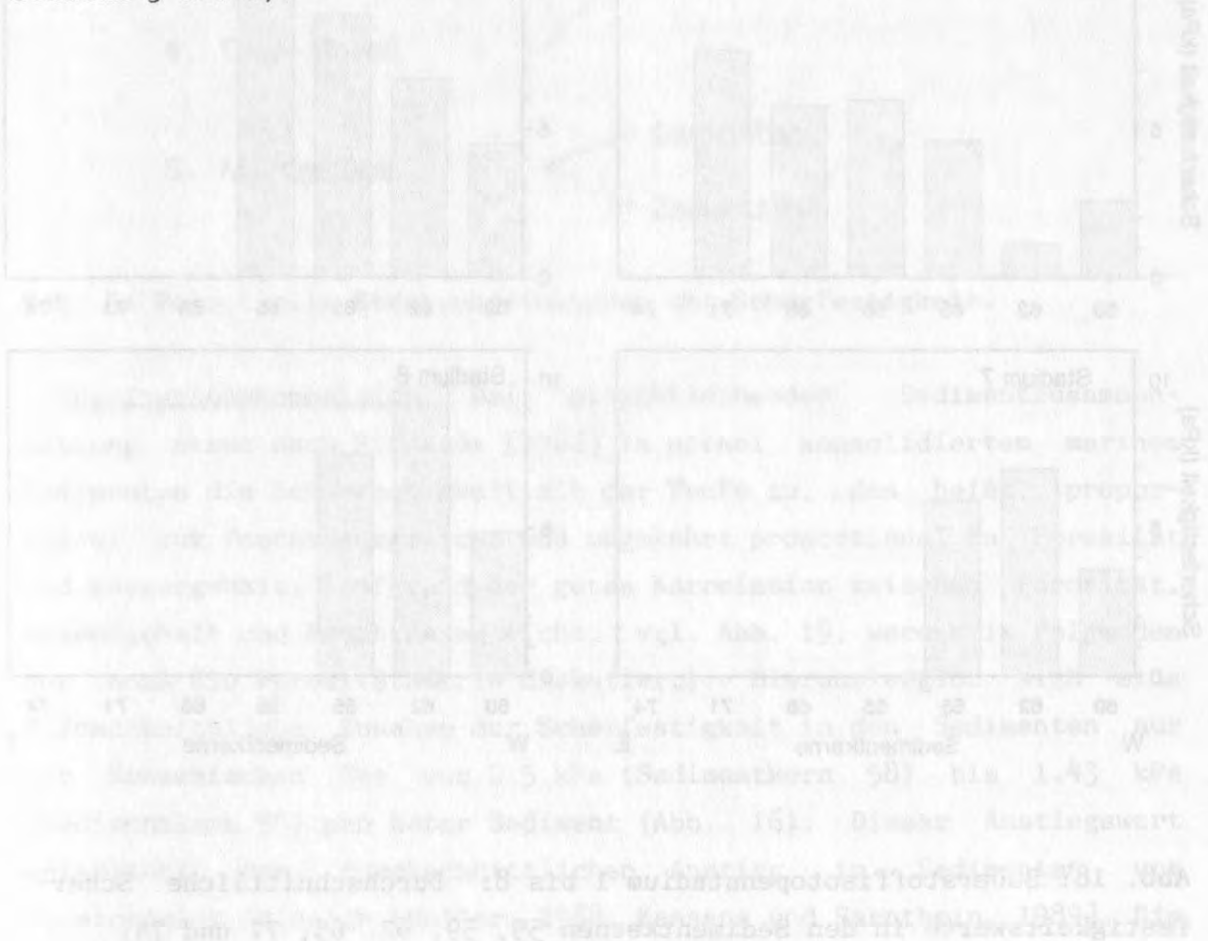
Auffallend ist, daß sich Scherfestigkeitsmaxima in den Sauerstoffisotopenstadien 1 bis 3 auf das Gebiet des Vøring-Plateau beschränken, wobei auf dem südlichen Vøring-Plateau, einem Gebiet mit hohen Sedimentakkumulationsraten (Abb. 11), sogar zwei Scherfestigkeitsmaxima zwischen 0 und 14.000 J.v.h. auftreten (Abb. 17).

Verfestigte Sedimenthorizonte fehlen in den kurzen GKG-Sedimentprofilen 57-1 (Abb. 14b), 61-3 (Abb. 14g), 66-2 (Abb. 14j) und 69-2 (Abb. 14c) und im Sedimentprofil 58 (Abb. 15b) mit Turbiditsedimenten. Generell zeichnen sich diese Sedimentprofile durch sehr niedrige

Scherfestigkeitswerte aus. In den Sedimentprofilen 58 (Abb. 15b) und 61-3 (Abb. 14g), aus dem Lofoten- und Norwegen-Becken, nimmt die Scherfestigkeit allmählich von durchschnittlich 1.33 kPa auf 3.7 kPa in 587 cm Teufe bzw. von 1.28 kPa auf 1.94 kPa in 36 cm Teufe zu. In den GKG-Sedimentprofilen vom Hangfuß des Vøring-Plateaus (Sedimentkerne 57, Abb. 14b und 66, Abb. 14j) und vom Vøring-Plateau (Sedimentkern 69, Abb. 14c) nimmt die Scherfestigkeit sogar geringfügig von durchschnittlich 1.68 kPa bzw. 2.19 kPa in 2 cm Teufe auf 1.36 kPa (Sedimentkern 57) bzw. 1.79 kPa (Sedimentkern 69) in 28 und 39 cm Teufe ab.

Entlang des Ost-West verlaufenden Profils zwischen dem Vøring-Plateau und Jan Mayen zeigt Abbildung 18 eine zusammenfassende Dargestellung der durchschnittlichen Scherfestigkeitswerte innerhalb der Sauerstoffisotopenstadien 1 bis 8 am Beispiel der Sedimentkerne 55, 59, 62, 65, 68, 71 und 74.

Insgesamt nehmen die durchschnittlichen Scherfestigkeitswerte innerhalb der Sauerstoffisotopenstadien 1 bis 6 vom Vøring-Plateau in Richtung auf Jan Mayen ab (Abb. 18). Diese Abnahme ist in Sedimentabschnitten mit Scherfestigkeitsmaxima besonders ausgeprägt (z.B. Stadium 3 und 6).



Verteilung der durchschnittlichen Scherfestigkeitswerte

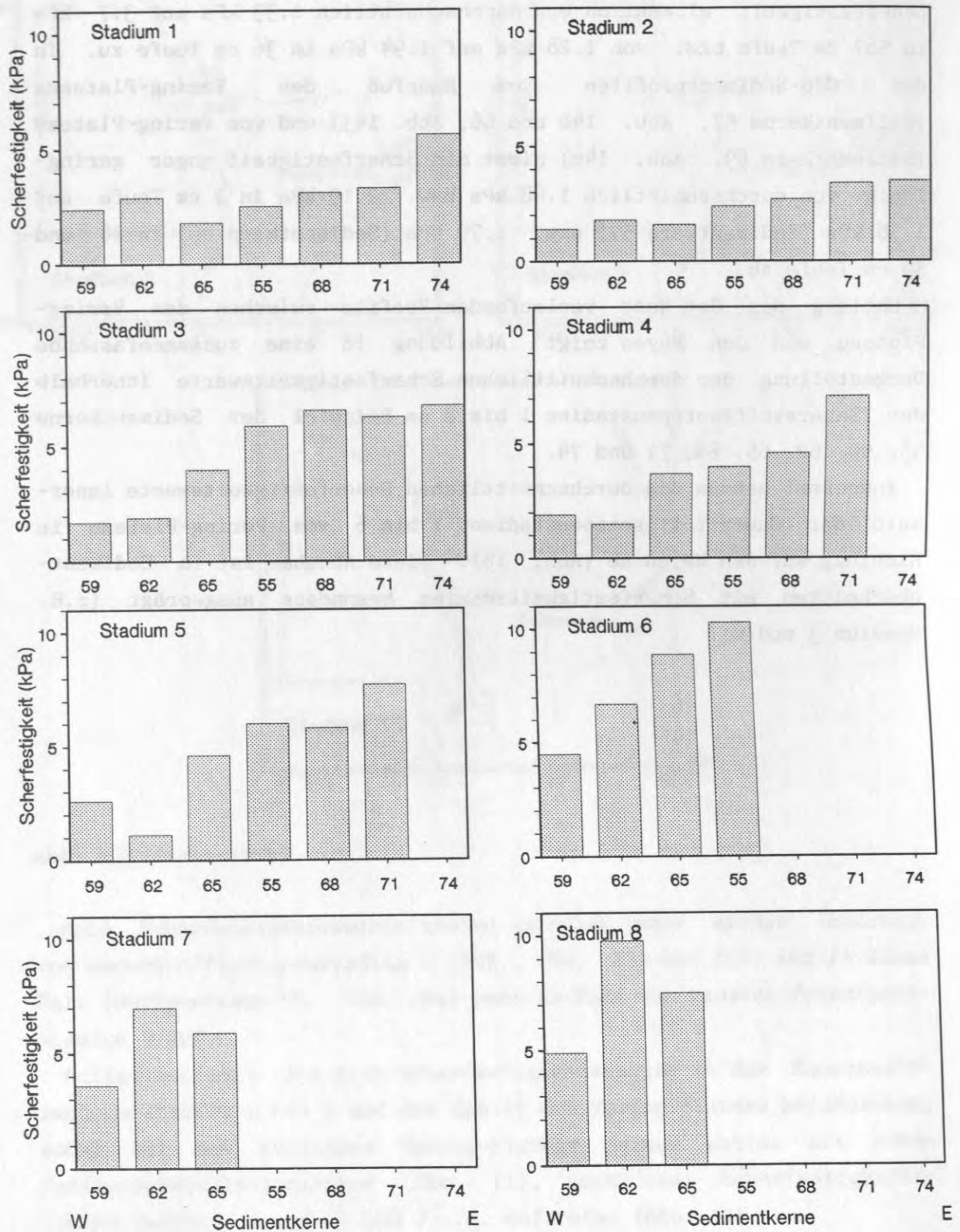


Abb. 18: Sauerstoffisotopenstadium 1 bis 8: Durchschnittliche Scherfestigkeitswerte in den Sedimentkernen 55, 59, 62, 65, 71 und 74.

DISKUSSION: URSACHEN VON SCHERFESTIGKEITSMAXIMA IN SPÄTQUARTÄREN SEDIMENTEN AUS DER NORWEGISCHEN SEE

Potentielle Steuerungsfaktoren der Scherfestigkeit

Um die Entstehung von Scherfestigkeitsmaxima in den spätquartären Sedimenten der Norwegischen See zu klären, werden die potentiellen Steuerungsfaktoren der Scherfestigkeitswerte im Folgenden der Reihe nach diskutiert und gewertet (Tab. 5). Für einzelne Beweisketten sind wichtige Kenngrößen in Tabelle A1 zusammengestellt.

Steuerungsfaktoren der Scherfestigkeit



Tab. 5: Potentielle Steuerungsfaktoren der Scherfestigkeit.

Gravitationskompaktion: Bei gleichbleibender Sedimentzusammensetzung nimmt nach Richards [1962] in normal konsolidierten marinen Sedimenten die Scherfestigkeit mit der Teufe zu, das heißt, proportional zum Feuchtraumgewicht und umgekehrt proportional zu Porosität und Wassergehalt. (Aufgrund der guten Korrelation zwischen Porosität, Wassergehalt und Feuchtraumgewicht, vgl. Abb. 19, werden im Folgenden nur noch die Porositätswerte diskutiert). Hieraus ergibt sich eine durchschnittliche Zunahme der Scherfestigkeit in den Sedimenten aus der Norwegischen See von 0.5 kPa (Sedimentkern 58) bis 1.43 kPa (Sedimentkern 55) pro Meter Sediment (Abb. 16). Dieser Anstiegswert entspricht dem durchschnittlichen Anstieg in Sedimenten vom äquatorialen Atlantik [Holler, 1988; Kassens und Sarnthein, 1989]. Die

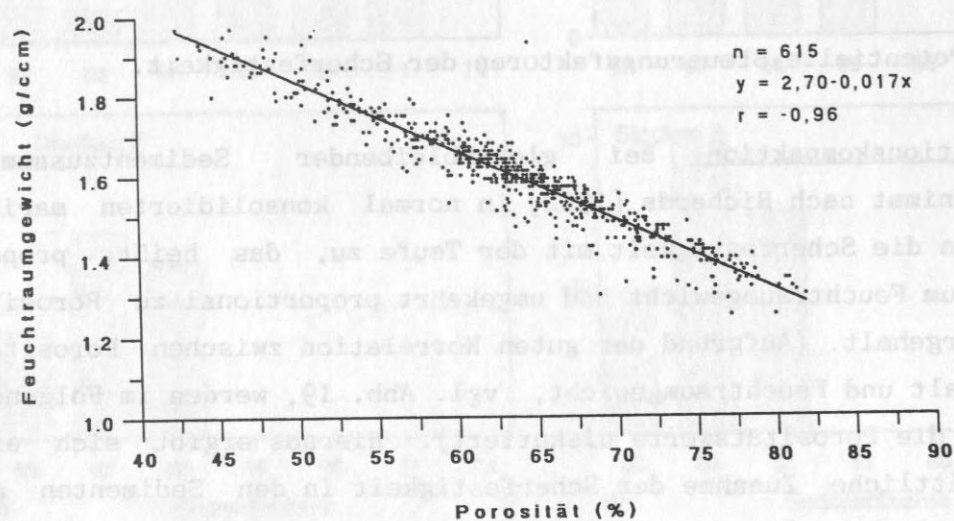
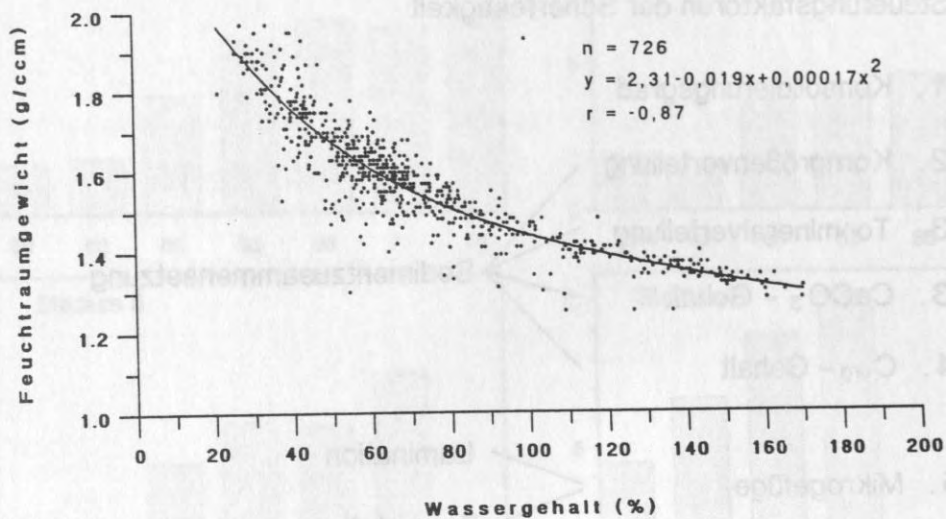
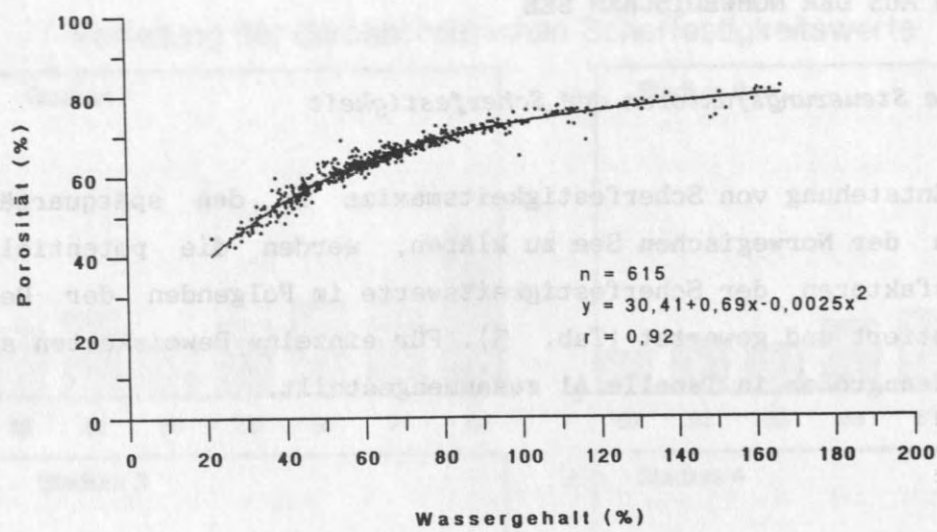


Abb. 19: Korrelation zwischen Porosität, Wassergehalt und Feuchtraumgewicht in Sedimenten aus der Norwegischen See.

darüber hinaus reichenden Scherfestigkeitsmaxima müssen somit mit anderen Variablen, z.B. mit dem Kalziumkarbonatgehalt und sonstigen Sedimentparametern (Tab. 5) im Zusammenhang stehen.

Die Scherfestigkeitsmaxima können drei sedimentologischen Falltypen zugeordnet werden. Allen diesen Falltypen sind geringe Kalziumkarbonat- und Porositätswerte, sowie hohe C_{org} - und Quarzgehalte [Henrich et al., 1989] gemeinsam (Abb. 15a, 15c bis 15h), was eigentlich gerade die Scherfestigkeit reduzieren sollte (Abb. 13).

Falltyp 1, hohe Scherfestigkeitswerte (4.6 kPa und 16.7 kPa) treten in einigen wenigen Fällen in Sedimenthorizonten mit Tonklasten (Abb. 20) oder Aschenlagen auf. Dies trifft vor allem auf Sedimenthorizonte im Sauerstoffisotopenstadium 6 (Sedimentkerne 55, 62, 65, 68 und 71) zu. Die dort häufigen Tonklasten sind im allgemeinen eckig und erreichen Durchmesser im Millimeter- bis Zentimeterbereich (Abb. 15a, 15c bis 15f). Verfestigte Tonklasten werden dabei als Bruchstücke von Kryokoniten gedeutet, die auch von Sedimentfallen aus eisbedeckten Gebieten der Framstraße bekannt sind [Berner, 1989]. Nur in zwei Sedimentprofilen aus Sauerstoffisotopenstadium 8, (Sedimentkerne 59 und 62; Abb. 15c, 15d) gehen die hohen Scherfestigkeitswerte (12.4 kPa bis 21.7 kPa) mit Aschenlagen parallel. Diese Horizonte unterscheiden sich allerdings durch deutlich höhere Porositätswerte (70.6 % bzw. 71.3 % im Vergleich zu durchschnittlich 35 %) von den übrigen Scherfestigkeitsmaxima.

Falltyp 2 betrifft Scherfestigkeitsmaxima (12.8 kPa bis >60 kPa) in laminierten Sedimenthorizonten (Beispiel in Abb. 20). In diesen dunkelolivbraunen und wenig bioturbaten Sedimenthorizonten liegt der $CaCO_3$ -Gehalt zumeist unterhalb von 1%, und der Eisengehalt steigt z.T. bis über 5 % an (Abb. 20). Dunkelgraue bis schwarze, jedoch nicht laminierte Sedimenthorizonte im Liegenden der verfestigten Lagen zeichnen sich durch außergewöhnlich hohe Schwefel- und C_{org} - Konzentrationen aus (Abb. 20). Insgesamt zeichnet sich die Abfolge von laminierten und dunkelgrau bis schwarzen Sedimenten durch einen deutlichen Anstieg der homogenisierten Scherfestigkeit und durch niedrige Plastizitätsindexwerte (Abb. 20) aus.

Scherfestigkeitsmaxima in laminierten Sedimenthorizonten sind typisch für den Beginn der Sauerstoffisotopenstadien 3 (Sedimentkerne 55, 68 und 71; Abb. 15a, 15f und 15g) und 6 (Sedimentkerne 55, 62 und 65; Abb. 15a, 15d und 15e), in zwei Fällen für das mittlere Stadium 6 (Sedimentkerne 55 und 68; Abb. 15a, 15f) und für das Ende von Stadium 6 (Sedimentkerne 55, 62, 65, 68 und 71), für das Stadium 9

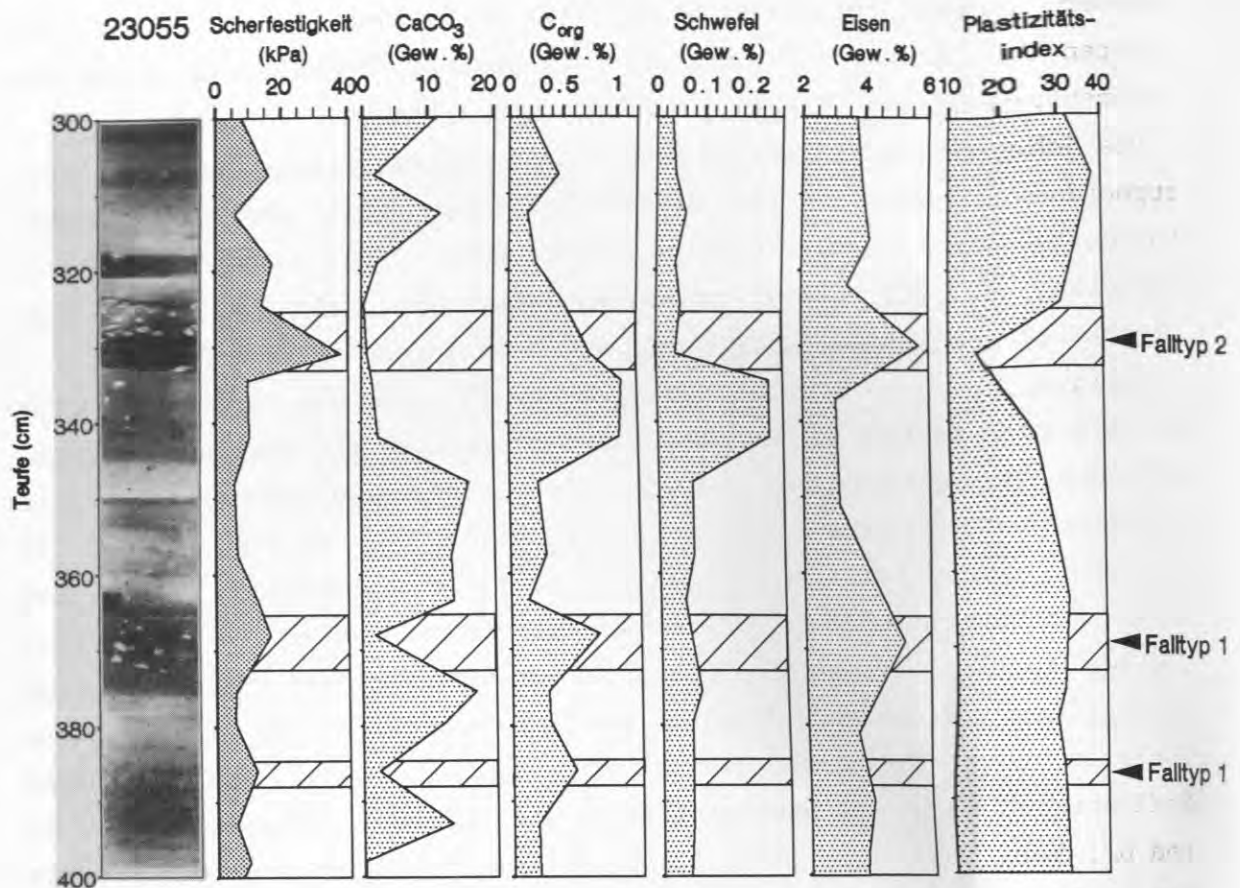


Abb. 20: Sedimenteigenschaften der verfestigten Sedimenthorizonte von Falltyp 1, Lagen mit Tonklasten, und Falltyp 2, laminierter Horizont, am Beispiel von Sedimentkern 55 zwischen 300 cm und 400 cm Teufe.

(Sedimentkerne 59 und 65) und für Stadium 10 (Sedimentkern 65).

Falltyp 3 betrifft Scherfestigkeitsmaxima nahe der Sedimentoberfläche (Sedimentkerne 55, 68, 70-2, 72-2, 71 und 74; Abb. 15a, 15f, 14d, 14e, 15g und 15h), die in den Bereich der letzten Enteisungsphase fallen und an keinen speziellen Faziestypen gebunden sind. Hohe Scherfestigkeitswerte (6.9 kPa bis 19.8 kPa) sind hier ebenso typisch für dunkelgrau laminierte Silte (Sedimentkerne 55, 60 und 68; Abb. 15a, 14g und 15f) sowie für braune tonige Silte und siltige Tone (Sedimentkerne 70-2, 72-2, 71 und 74; Abb. 14d, 14e, 15g und 15h).

Bei den Falltypen 1 und 2 besteht demnach ein Zusammenhang zwischen Scherfestigkeitsmaxima und Sedimentzusammensetzung, besonders deutlich im Falltyp 1, wo hohe Scherfestigkeitswerte wohl mit verfestigten Tonklasten parallel gehen. Bei Falltype 2 stellt sich allerdings die Frage, inwieweit die Scherfestigkeitsmaxima überhaupt mit den jeweils sehr niedrigen Kalziumkarbonatgehalten im Zusammenhang stehen, da niedrige CaCO_3 -Gehalte auch in den dunkelgrau bis schwarzen Sedimenten

(im Liegenden) auftreten.

Eine positive Korrelation zwischen der Scherfestigkeit und dem Anteil der Fraktion $>63 \mu\text{m}$, wie in den Oberflächensedimenten der Norwegischen See (Abb. 12) und vielen anderen marinen Sedimenten beobachtet wurde [Richards, 1962; Johnson et al., 1977], zeigt sich in den verfestigten Sedimenthorizonten dagegen nicht (Abb. 15a, 15c bis 15h).

Der reine Materialfaktor spiegelt sich über den Konsolidierungsgrad, hier ausgedrückt über das Verhältnis der Scherfestigkeit zur Sedimentauflast (c_u/p_o -Verhältnis), wider (Abb. 15a bis 15h).

Danach sind Sedimente in der Norwegischen See mit einem c_u/p_o -Verhältnis zwischen 0.17 und 0.38 normal konsolidiert (Skempton Faktor, vgl. S. 15), das heißt, Scherfestigkeitsschwankungen in diesem Bereich wären auf Materialänderungen zurückzuführen. Erst wo dieser Bereich in einem Kernabschnitt überschritten wird, sind die Sedimente überkonsolidiert. Dies trifft in der Norwegische See für folgende Sedimente zu:

- Für alle Oberflächensedimente (bis max. 122 cm Teufe, Sedimentkern 74), besonders Scherfestigkeitsmaxima vom Falltyp 3;
- für die Mehrheit der Tonklastenlagen, d.h. für Scherfestigkeitsmaxima vom Falltyp 1;
- und vor allem für die laminierten Sedimenthorizonte, für Scherfestigkeitsspitzen vom Falltyp 2.

Die Bedeutung der Sedimentzusammensetzung vom CaCO_3 -Gehalt über Porosität bis hin zur homogenisierten Scherfestigkeit ist also für die Entstehung der verhärteten Lagen gering.

Auch weitere, gängige Erklärungsmodelle wie Erosionshorizonte, die in den jeweils liegenden Profilabschnitten dann zu überkonsolidierten Lagen führen können [Einsele und Werner, 1968; Bjerrum, 1973] oder Rutschmassen [Amagor und Wiseman, 1977; Holler, 1985] kommen zur Erklärung der verfestigten Lagen, Falltyp 2 und 3, kaum in Betracht. Nach der vorliegenden genauen Stratigraphie liegen nämlich keinerlei Anzeichen für Schichtlücken in den betrachteten Sedimentprofilen vor. Im Gegenteil, besonders hohe Scherfestigkeitswerte zu Beginn des Sauerstoffisotopenstadiums 6 treten sogar in Kernabschnitten mit ausgesprochen hohen Sedimentationsraten auf (Abb. 11). Dies, obwohl der Festigkeits- und Konsolidierungsgrad von rasch abgelagerten Sedimenten normalerweise sehr gering ist [Shepard et al., 1978; Almagor, 1979].

Daraus ergibt sich, daß die Oberflächensedimente und vor allem die

Sedimente bei den Scherfestigkeitsmaxima vom Falltyp 2 und 3, im Sinne Richards und Hamilton [1967] 'scheinbar überkonsolidiert' sind und zwar in ungewöhnlichem Ausmaß.

Diese scheinbare Überkonsolidierung von Oberflächensedimenten erscheint für alle Tiefseesedimente charakteristisch, da gleichermaßen kalziumkarbonatreiche wie auch siliziklastische Sedimente dieses Phänomen zeigen [Richards und Hamilton, 1967; Einsele, 1982, Marine Geotechnical Consortium, 1985; Shephard et al., 1987; Bryant und Bennett, 1988 und Kassens und Sarnthein, 1989]. Als ihre Ursache wurden verschiedentlich Mineralneubildungen vermutet oder nachgewiesen, z.B. Montmorillonitneubildungen im roten Tiefseeton des Pazifik [Bryant und Bennett, 1988] oder CaCO_3 -Zementation [Kassens und Sarnthein, 1989]. Shepard et al. [1987] vermuten außerdem einen direkten Zusammenhang zwischen scheinbarer Überkonsolidierung (bei einem Anstieg der Scherfestigkeit bis 14 kPa) und der Tonmineralorientierung in laminierten Sedimenthorizonten feinkörniger Turbiditsequenzen.

Ein Durchbruch in dieser Frage konnte schließlich mit Hilfe von Rasterelektronenmikroskop-Aufnahmen des ungestörten Mikrogefüges von Tiefseesedimenten im äquatorialen Atlantik erzielt werden [Kassens und Sarnthein, 1989]. Hier konnte erstmals gezeigt werden, daß die scheinbare Überkonsolidierung von Oberflächensedimenten, vor allem zwischen 8 cm und 22 cm Teufe, durch Kalziumkarbonatzementation sowie Kristallrasen aus Kalzit, Aragonit und Silikaten verursacht wird.

Im Folgenden wird nun gezeigt, inwieweit Lamination und/oder Zementation auch die verhärteten Sedimenthorizonte in der Norwegischen See bewirkt haben mögen.

Lamination: Nach Bryant und Bennett [1988] bestehen in laminierten Sedimenthorizonten, wie sie für die Falltypen 2 und teilweise auch 3 vorliegen, starke interpartikuläre Bindungen zwischen gut eingeregelten Tonmineralen. Ob starke Partikelbindungen allerdings völlig ausreichen, eine Überkonsolidierung von Sedimenten zu bewirken, ist nicht bekannt, da dieser Faktor bisher nicht quantitativ im Experiment erfaßt werden kann.

Shepard et al. [1987] konnten z.B. in Turbiditfolgen keine bevorzugte Einregelung der Sedimentpartikel in den laminierten und C_{org} -reichen Sedimenthorizonten, deren Mächtigkeit maximal 30 cm beträgt, beobachten, vielmehr nur in pelagischen Profilabschnitten. Sie vermuten daher, daß die überdurchschnittlich hohen Scherfestigkeitswerte auf Eisen- und Manganausfällungen, also auf frühe Zementation, zurück-

zuföhren seien.

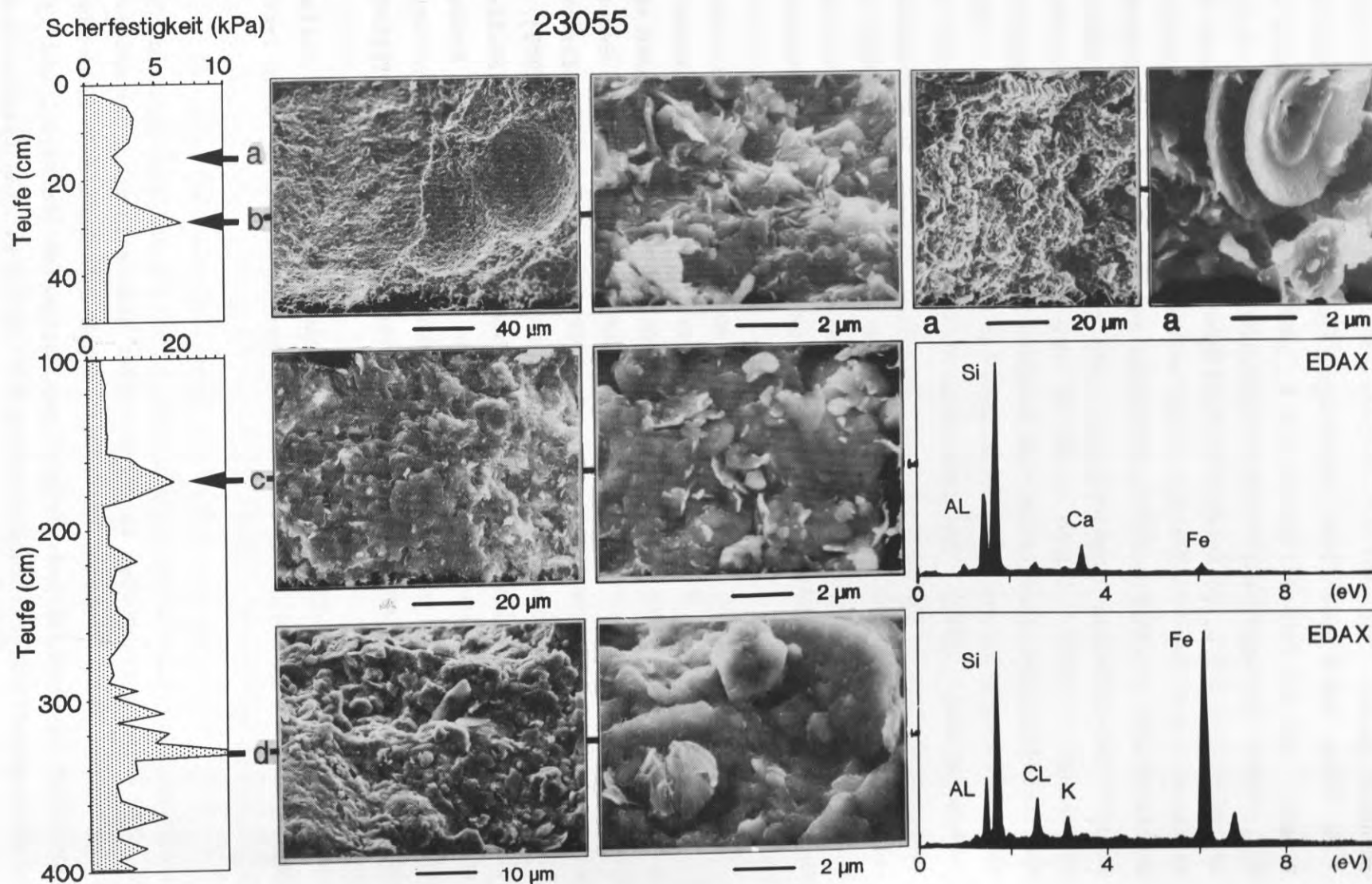
De Lange und Rispen [1986] bestätigen eine solche Vermutung. Sie zeigen, daß die Wechsellagerung von C_{org} -reichen (turbiditischen) und C_{org} -armen (pelagischen) Tiefsee-Sedimenten (durchschnittlich 0.3 % und maximal 0.8 % C_{org}) bedeutende Konsequenzen für die Geochemie der Sedimente und des Porenwassers haben würde. So können C_{org} -reiche Sedimentlagen zu einer deutlichen Abnahme des Redoxpotentials föhren, wodurch schichtweise diagenetische Prozesse ausgelöst werden können [De Lange, 1986]. Solche räumlich eng begrenzten geochemischen Spezialbedingungen ermöglichen zum Beispiel Sulfatreduktion [Kuijpers, 1982] und Migration von Spurenelementen [u. a. Colley et al., 1984; Thomson et al., 1984]. Das gemeinsame Auftreten von hohen Eisen- und Siliziumgehalten im Porenwasser und hohen C_{org} -gehalten in geringmächtigen Sedimenthorizonten föhrt nach De Lange und Rispen [1986] zu Ausfällungen von amorphen Eisensilikaten mit Tonmineralstrukturen und Mineralneubildungen, wie die von Eisenhydroxid und möglicherweise auch von Quarz.

Ähnlich ist wohl die Situation bei den laminierten Sedimenten in der Norwegischen See. Die übermäßig verfestigten Sedimenthorizonte unterscheiden sich dort nur durch das Fehlen von Turbiditsequenzen und durch noch sehr viel höhere Scherfestigkeitswerte. Als weitere Besonderheit ist der abschnittsweise hohe Anteil von eistransportiertem, also ebenfalls terrigenem Material zu nennen [Henrich et al., 1989].

Frühdiagenetische Zementation: Um die Möglichkeit einer fröhdiagenetischen Zementation näher zu überprüfen, wurden ungestörte Proben der Sedimentprofile 55 und 59 unter dem REM auf diagenetisch veränderte Porenraumgefüge untersucht und deren Inhalt identifiziert (Abb. 21).

Dabei wurden tatsächlich Silikatkrusten im Zusammenhang mit allen Scherfestigkeitsmaxima nahe der Sedimentoberfläche und in den lami-

Abb. 21: Zementationsgefüge in verfestigten Sedimenthorizonten aus der Norwegischen See: Rasterelektronenmikroskop-Aufnahmen und EDAX-Analysen-Daten am Beispiel von verfestigten Horizonten (Falltyp 2 und 3) in Sedimentprofil 55 zwischen 0 cm und 400 cm Teufe. (a) Diagenetisch unveränderte Sedimentgefüge nahe der Sedimentoberfläche; (b) zementierte Sediment-Matrix bei Scherfestigkeitsmaxima vom Falltyp 3; (c,d) Silikatkrusten bei Scherfestigkeitsmaxima vom Falltyp 2.



nierten Horizonten beobachtet. Diese Silikatkrusten zementieren die feinkörnige Sediment-Matrix und verkitten zahlreiche Mikroporenräume. Die Zementation von verfestigten Lagen mit sehr hohen Scherfestigkeitswerten in den Bereichen von Falltyp 2 ist dabei deutlich fortgeschritten (Abb. 21c).

Die Zementation beschränkt sich eindeutig auf Sedimentlagen mit Scherfestigkeitsmaxima. Weder unterhalb noch oberhalb der verfestigten Lagen wurden diagenetisch veränderte Sedimente beobachtet (Abb. 21a).

Nach EDAX- und Mikrosondenanalysen bestehen die Krusten aus Eisen-Aluminium-Silikaten mit geringen Anteilen von Kalium und Magnesium, wobei der Eisengehalt sehr variabel ist (Abb. 21; Tab. 6). Die Krusten sind jedoch so feinkörnig, daß selbst bei 10.000 facher Vergrößerung keine Kristalle beobachtet werden können und deshalb eventuell amorph sind (Abb. 21). Eine genauere Identifizierung der Mineralneubildungen war daher nicht möglich.

Im äquatorialen Atlantik [Kassens und Sarnthein, 1989] und in der Nares Tiefsee-Ebene [De Lange und Rispen, 1986] wurden authigene Eisen-Silikate mit einer ähnlichen chemischen Zusammensetzung nachgewiesen.

De Lange und Rispen [1986] vermuten, daß es sich bei den authigenen Eisen-Silikaten aus laminierten Sedimenten in der Nares Tiefsee-Ebene um Nontronit, ein eisenreiches Montmorillonit-Mineral, handeln könnte.

Gezielte Röntgendiffraktometeranalysen im Zentimeterabstand von einigen Kernabschnitten mit Scherfestigkeitsmaxima (Falltyp 2) zeigen allerdings weder Nontronit noch eine Zunahme des Montmorillonitgehaltes insgesamt (Abb. 22). Auch der Anteil von Eisenhydroxiden und röntgenamorphen SiO_2 -Phasen, wie zum Beispiel Opal, liegt hier unter der Nachweisgrenze.

Die in den oberflächennahen Sedimenthorizonten beobachtete Zementation ist aller Wahrscheinlichkeit kein Artefakt. Für eine natürliche frühdiagenetische Entstehung der Zementationshorizonte spricht neben der vorsichtigen Probenaufbereitung (vgl. S. 20) vor allem der Befund, daß an Bord gemessene Scherfestigkeitsmaxima und Silikat-Zementation strikt parallel vorkommen (Abb. 21).

In der Norwegischen See ist damit die scheinbare Überkonsolidierung in Bereichen von Scherfestigkeitsmaxima (Falltyp 2 und 3) sowie im äquatorialen Atlantik [Kassens und Sarnthein, 1989] auf Zementation zurückzuführen, die sehr früh nach dem Sedimentationsprozess einsetzte und somit noch unmittelbar vom Ablagerungsmilieu mit beeinflusst wurde.



Tab. 6: Elementarzusammensetzung der Zementationsmatrix in laminierten Sedimenthorizonten (Falltyp 2) nach Mikrosondeanalysen (gemeinsam mit Ackermann; Mineralogisch-Petrographisches Institut, Kiel). Aufgenommene 'Energiedispersive Röntgenspektren' zeigen an, daß keine weiteren Elemente mit der Ordnungszahl > 11 mit Prozentanteilen über 0.5 Gew.% vorliegen. Die verwendeten Geräteparameter waren: 15 KV Anregungsspannung, 15 nA Strahlstrom und 0.5 μm Strahldurchmesser im Auftreffpunkt mit der Probe. Die Streuung der Ergebnisse von Probe zu Probe ist auf die geringe Partikelgröße und den damit verbundenen Anstieg des Hintergrundrauschens beim Messen zurückzuführen.

		Cr ₂ O ₃	MnO	FeO	K ₂ O	CaO	TiO ₂	Na ₂ O	Al ₂ O ₃	MgO	SiO ₂	Summe
Kernstation	Analyse	(Gew.%)	(Gew.%)	(Gew.%)	(Gew.%)	(Gew.%)	(Gew.%)	(Gew.%)	(Gew.%)	(Gew.%)	(Gew.%)	
Norwegische See												
23055: 330-332 cm	1	0.01	0.31	18.64	2.54	0.37	0.32	0.71	15.10	1.81	34.59	74.40
	2	0.06	0.29	21.75	2.36	0.17	0.46	1.08	18.93	4.21	32.43	82.39
	3	0.02	0.55	29.95	1.88	0.51	0.19	1.09	8.11	2.55	20.51	66.25
23059: 541-542 cm	1	0.07	0.04	5.82	6.28	0.17	0.17	0.46	15.37	1.19	44.66	74.24
	2	0.04	0.02	11.96	4.64	0.02	0.14	0.61	12.46	3.30	50.19	83.37
	3	0.00	0.10	8.55	2.30	0.10	0.24	0.50	13.83	1.91	45.95	73.48
	4	0.02	0.01	1.69	9.12	0.09	0.23	0.44	34.91	1.02	48.44	95.97
	5	0.01	0.12	11.48	1.13	0.21	0.15	1.59	11.21	1.52	33.00	60.43
	6	0.00	0.06	3.43	1.14	3.00	0.12	6.61	20.96	0.83	56.65	92.43
23059: 542-543 cm	1	0.00	0.11	13.79	2.56	0.13	0.37	0.55	17.16	3.09	35.87	73.63
	2	0.02	0.12	10.00	1.77	0.76	1.27	1.20	13.80	2.38	31.65	62.95
	3	0.00	0.12	11.22	3.68	0.28	0.45	0.75	19.13	2.65	41.79	80.06
	4	0.03	0.11	11.30	3.61	0.29	0.38	0.84	19.47	2.74	40.61	79.62
Äquatorialer Atlantik												
16402: 25-26 cm	1			16.10	7.10	1.90	2.20		19.30	10.90	41.70	99.20

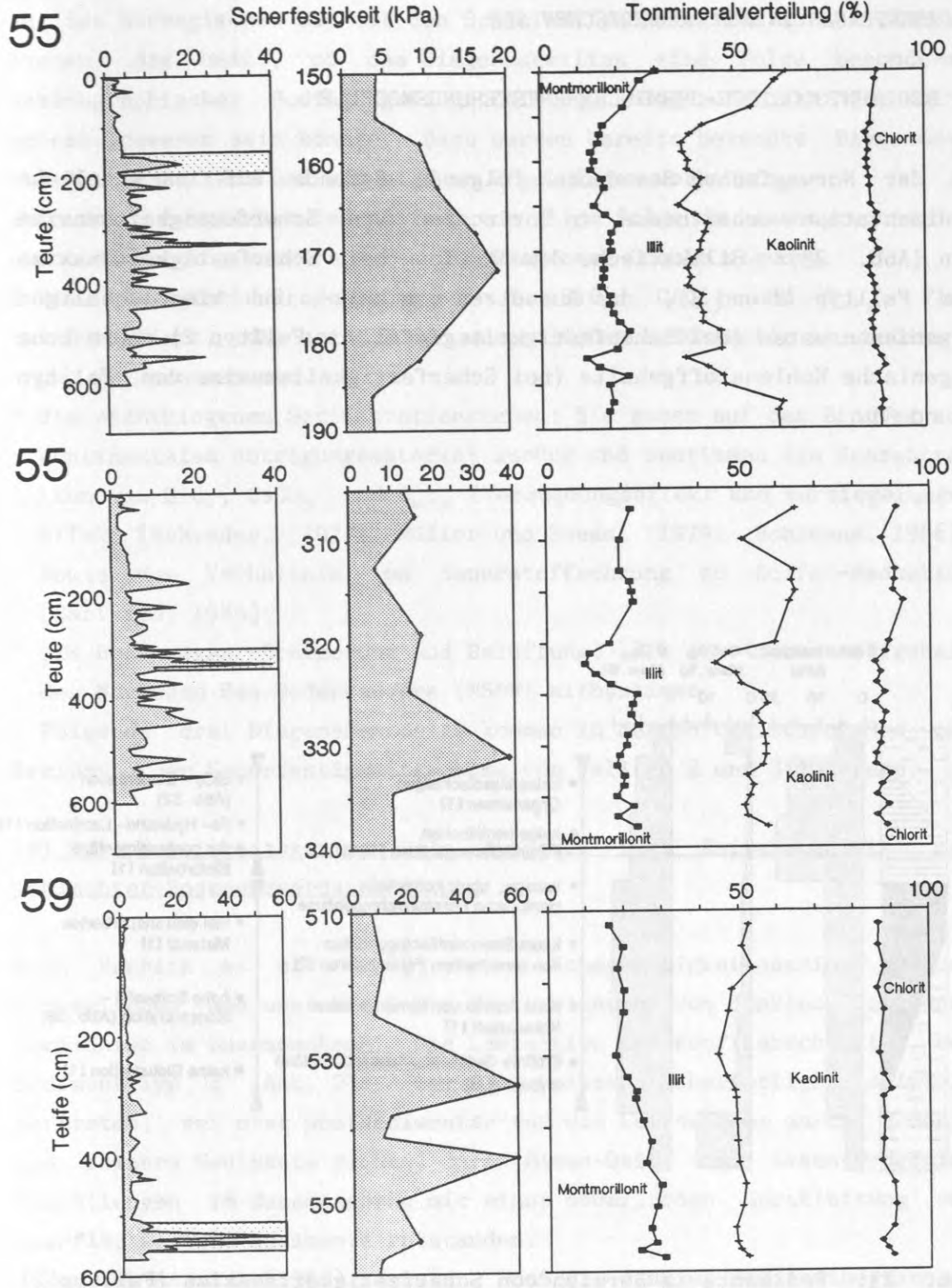


Abb. 22: Scherfestigkeitsmaxima in laminierten Sedimenthorizonten, Falltyp 2, und die Verteilung der wichtigsten Tonminerale (Montmorillonit, Illit, Kaolinit und Chlorit) am Beispiel der Sedimentprofile 55 und 59.

MÖGLICHE ENTSTEHUNGSURSACHEN VON FRÜHDIAGENTISCH VERFESTIGTEN SEDIMENTLAGEN IN DER NORWEGISCHEN SEE

1. SEDIMENTOLOGISCH-CHEMISCHE ENTSTEHUNGSMODELLE

In der Norwegischen See deuten folgende Befunde auf ungewöhnliche Sedimentationsverhältnisse in Horizonten von Scherfestigkeitsmaxima hin (Abb. 23): Silikatische Zementation (bei Scherfestigkeitsmaxima vom Falltyp 2 und 3), das Aussetzen von kalk- und kieselschaligen Organismenresten (bei Scherfestigkeitsgipfel vom Falltyp 2) sowie hohe organische Kohlenstoffgehalte (bei Scherfestigkeitsmaxima vom Falltyp 2 und 3).

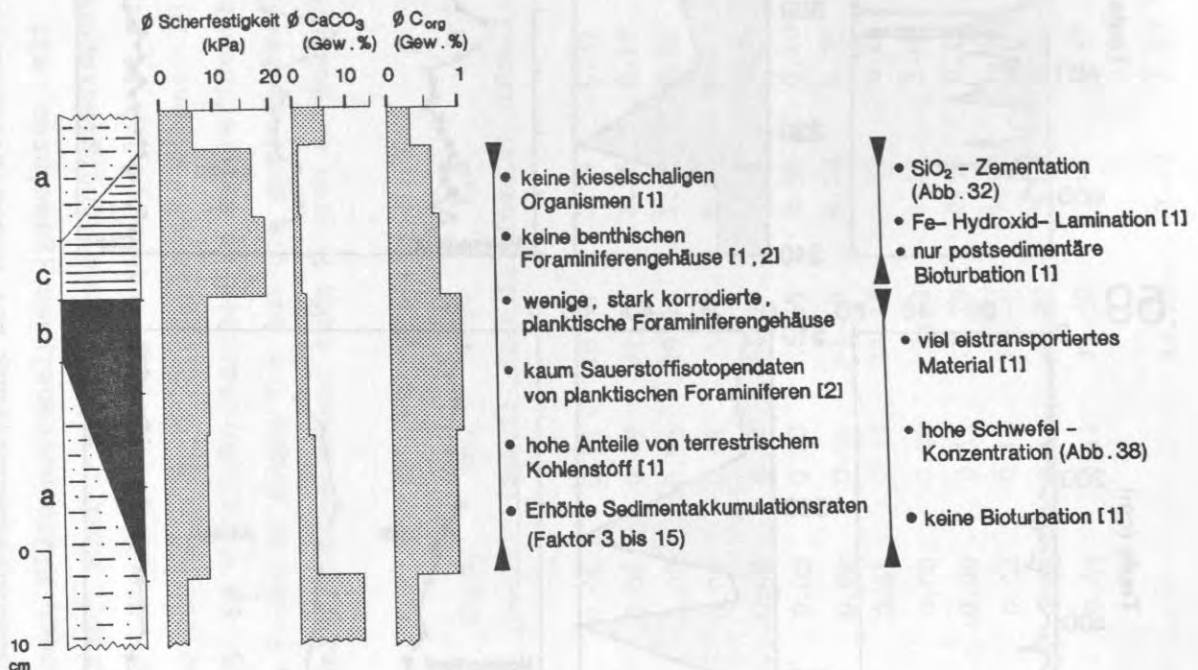


Abb. 23: Sedimente im Bereich von Scherfestigkeitsmaxima (Falltyp 2) in den Sauerstoffisotopenstadien 3, 6, 9 und 10. Dargestellt sind die Durchschnittswerte für Scherfestigkeiten sowie CaCO_3 - und C_{org} -Konzentrationen von 18 Bereichen in den Sedimentkernen 55, 59, 62, 65, 68 und 71. (a) Graubraune, siltige Tone; (b) dunkelgrau bis schwarze, sandige Tone; (c) dunkelolivbraune, laminierte, sandige Tone. [1] Henrich et al. [1989] und [2] Vogelsang [1990].

Im folgenden wird geprüft, welche speziellen Ablagerungsbedingungen in der Norwegischen See mit den Scherfestigkeitsmaxima in Verbindung stehen, das heißt, ob das Diagenesemilieu eine Folge besonderer ozeanographischer Bedingungen zur Zeit der Ablagerung oder der Diagenese gewesen sein könnte. Dazu werden bereits bekannte Diagenesemodelle diskutiert und mit eigenen Ergebnissen verknüpft.

In der Norwegischen See dürften vor allem folgende ozeanographische- und sedimentologische Faktoren die Diagenese-Chemie steuern:

- * Die biologische Produktion, die den SiO_2 -, CaCO_3 - und C_{org} - Flux kontrolliert, das heißt, den wesentlichen Redoxfaktor im Sediment und im Bodenwasser;
- * die nichtbiogenen Sedimentationsraten: Sie gehen auf den Eintrag von kontinentalem Abtragungsmaterial zurück und bestimmen die Konzentration von SiO_2 , CaCO_3 und C_{org} (Verdünnungseffekt und Versiegelungseffekt [Schrader, 1972; Müller und Suess, 1979; Bohrmann, 1986]) sowie das Verhältnis von Sauerstoffzehrung zu Sulfat-Reduktion [Canfield, 1989];
- * die Bodenwasser-Erneuerung und Belüftung, die den Sauerstoffgehalt des Norwegen See-Bodenwassers (NSDW) mitbestimmt.

Folgende drei Diagenesemodelle kommen in der Norwegischen See zur Erklärung der Scherfestigkeitsmaxima von Falltyp 2 und 3 in Frage:

(A) Scherfestigkeitsmaxima als Ausdruck für Zeitabschnitte mit schlechter Bodenwasserdurchlüftung:

Nach Henrich et al. [1989] stehen Scherfestigkeitsmaxima in der Norwegischen See ursächlich mit der Lamination von dunklen Sedimenthorizonten im Zusammenhang. Die Lamination des Profilabschnittes bei Sediment-Typ c (Abb. 23), wo die meisten Scherfestigkeitsgipfel auftreten, sei erst postsedimentär (da die Lamina quer durch gröbere und feinere Sedimente ziehen) durch Eisen-Oxid- oder Eisen-Hydroxid-Ausfällungen im Zusammenhang mit einer neuerlichen Durchlüftung der oberflächennahen Sedimente entstanden.

Henrich et al. [1989] vermuten, daß die dunklen Sedimenthorizonte, die von laminierten Abschnitten überlagert sind (Scherfestigkeits-Falltyp 2; Typ b und c, Abb. 23) und knapp vor Eiszeit-Terminationen sowie auch innerhalb der Stadien 3, 6, 9 und 10 auftreten, eventuell im Zusammenhang mit beginnendem Abschmelzen des Eises stehen. Hohe Schmelzwasserbildung hätte eventuell die kurzfristige Bildung eines Schmelzwasserdeckels und damit verbunden, eine schlechte bzw. fehlende

Durchlüftung des Tiefenwassers zur Folge.

Dieses Modell vom Abschmelzen des Eises ist aufgrund vielfach fehlender Foraminiferen weder durch $\delta^{18}\text{O}$ - noch $\delta^{13}\text{C}$ -Daten belegt, in Einzelfällen jedoch klar widerlegt (z.B. Stadium 6.2, Sedimentkern 55; Stadium 6.6, Sedimentkerne 62 und 65). Mit dem Abschmelzen des skandinavischen Eises vermuten Henrich et al. [1989] einen hohen Eintrag von eistransportiertem Material, vor allem von Quarz und terrestrischem C_{org} , der vom Norwegischen Schelf her in Ost-West-Richtung in die Norwegische See erfolgt sein könnte. Die Remineralisation eines Teils der hohen C_{org} -Gehalte nahe/auf der Sedimentoberfläche zu CO_2 führte dabei schließlich zu starker CaCO_3 -Lösung im Bereich der heute dunklen Sedimenthorizonte (Typ b und c, Abb. 23).

Abweichend von Henrich et al. [1989] ist allerdings die direkte Oxidation von C_{org} nahe/auf der Sedimentoberfläche zu CO_2 bei primär geringem Sauerstoffgehalt des Bodenwassers eher unwahrscheinlich. Im sauerstoffarmen Bodenwasser-Milieu würde die Remineralisation von C_{org} zu großen Teilen durch Sulfatreduktion erfolgen, wobei kein CO_2 mehr entsteht und somit auch CaCO_3 nicht mehr gelöst wird, sondern erhalten bleibt [u.a. Berner, 1989]. Für die Kalklösung bedarf es daher auch einer anhaltenden O_2 -Zufuhr.

Während der 'Sapropel-Zeiten' könnte die Tiefenwasser-Zufuhr unabhängig von der Frage, ob ein Schmelzwasserdeckel vorlag oder nicht, aber auch aus dem freien Atlantik her erfolgt sein (Ästuar-Modell) [Jansen et al., 1983; Jansen und Erlenkeuser, 1985]. Das heißt, daß auch in Zeiten extremer Schmelzwasserzufuhr das Tiefenwasser ausreichend mit Sauerstoff versorgt worden wäre. Möglich wäre dann auch die von Henrich et al. [1989] beobachtete CaCO_3 -Lösung. Zwischen der Bildung der schwarzen und laminierten Sedimentlagen mit ihren Scherfestigkeitsmaxima und den Schmelzwasserschüben besteht demzufolge kein ursächlicher Zusammenhang.

(B) Scherfestigkeitsmaxima als Ausdruck fossiler Redoxgrenzen:

Unter Berücksichtigung der sehr niedrigen Remineralisationsrate von eistransportiertem, terrestrischem C_{org} (vergl. Modell A) im Vergleich zur Rate des marinen C_{org} [Emerson und Hedges, 1988] schlagen Berger et al. [1983], Wilson et al. [1986], Wallace et al. [1988] und zuletzt Thomson [im Druck] ein weiteres Diagenesemodell vor, das auch zu den vorliegenden Scherfestigkeitsmaxima führen könnte:

Im Zusammenhang mit den Metall-Fällungshorizonten der laminierten

Lagen, Sedimente vom Typ c (Abb. 23), würden demnach die Scherfestigkeitsmaxima rezente und fossile Redoxgrenzen widerspiegeln. Die Metall-Fällungen seien dabei die Folge einer Verschiebung der Redoxgrenze, z.B. im Gefolge von Schwankungen der Kohlenstoff-Produktivität [Berger et al., 1983] oder der Sedimentationsrate [Wilson et al., 1986; Wallace et al., 1988]. Die Scherfestigkeitsmaxima kommen jedoch auch außerhalb von laminierten Sedimenthorizonten vor, z.B. bei Falltyp 3, und gehen in keinem Fall mit Mn-Anreicherungen einher, wie sie Berger et al. [1983] fordern. Dagegen fallen Scherfestigkeitsspitzen vom Falltyp 2 (Typ c, Abb. 23) im allgemeinen tatsächlich mit einem deutlichen Anstieg des Fe-Gehaltes zusammen (Abb. 20).

Aufbauend auf den Fe-Fällungshorizonten in der Norwegischen See vermutet Thomson [im Druck] hohe Akkumulationsraten für die C_{org} -reichen Sedimente vom Typ b und c (Abb. 23) im Vergleich zu den Sedimenten im Liegenden und Hangenden vom Typ a (Abb. 23). Er führt hier die niedrigen $CaCO_3$ -Konzentrationen (Typ b und c, Abb. 23) eher auf Verdünnung durch hohe Zufuhr von terrigenem Material als auf Lösung zurück. Solange die Sedimentakkumulationsrate hoch gewesen sei, wäre die Redoxgrenze nahe der Sedimentoberfläche gelegen. Der spätere Wechsel zu einer niedrigen, pelagischen Sedimentationsrate (von z.B. 2 cm bis 3 cm pro 1000 J.) würde ein Absenken der 'Oxidationsfront' in ehemals anoxische Teufenbereiche auslösen. Die Mächtigkeit der 'Oxidationszone' würde dabei durch den Sauerstoffgehalt im Bodenwasser, den C_{org} -Gehalt der Sedimente und die Remineralisationsrate des C_{org} gesteuert werden [Grundmanis und Murray, 1982; Jahnke et al., 1982; Emerson und Hedges, 1988]. Die eisenreichen Lamina (also die verfestigten Sedimenthorizonte vom Typ c, Abb. 23) würden sich während dieser zweiten Phase im Bereich der maximalen Eindringung der 'Oxidationsfront' bilden. Dabei würde Eisen unter reduzierenden Bedingungen zunächst gelöst werden und durch Molekulardiffusion im Porenwasser aufwärts wandern, um im Bereich der 'Oxidationsfront' dann wieder auszufallen. In der Norwegischen See schwanken die Mächtigkeiten der laminierten Sedimenthorizonte zwischen 6 cm und 16 cm (Abb. 23). Folglich hätte sich die Oxidationsfront bei Umschlägen im Sedimentationsregime jeweils um diesen Betrag abgesenkt.

In 9 von 10 Fällen gehen die Scherfestigkeitsmaxima der Falltypen 2 und 3 tatsächlich mit einem deutlichen Anstieg der Sedimentakkumulationsrate einher (Abb. 11). Eine so drastische Abnahme der Sedimentakkumulationsraten um den Faktor 5, direkt oberhalb der verfestigten Sedimenthorizonte, wie sie Wallace et al. [1988] fordern, kann aller-

dings nur in knapp 30 % aller Fälle aus der Norwegischen See beschrieben werden (Abb. 11). Es läßt sich jedoch nicht ausschließen, daß sehr kurzfristige Hochsedimentationsphasen aufgrund der zum Teil zu weit auseinander liegenden Datierungsfixpunkte der SPECMAP-Zeitskala noch nicht erfaßt wurden [Martinson, 1987; Vogelsang, 1990]. Die meisten Scherfestigkeitsmaxima könnten somit tatsächlich mit einer solchen Verschiebung der Redoxgrenze im Gefolge von Schwankungen in der Sedimentationsrate in Verbindung stehen.

Dieses Modell sollte sich gerade an der Pleistozän/Holozän-Grenze nachprüfen lassen, wo die so häufigen Scherfestigkeitsmaxima mit der rezenten Redoxgrenze zusammenfallen sollten, wenn das Modell zutrifft. Hier zeigt sich allerdings, daß die rezente Redoxgrenze keine Beziehung zu den Scherfestigkeitsmaxima hat. Die rezente Redoxgrenze liegt hier nämlich zwischen 200 cm und 300 cm Teufe [freundliche mündliche Mitteilung W. Balzer, 1989] und damit weit unterhalb der jüngsten, oberflächennahen Scherfestigkeitsmaxima. Zumindest die Scherfestigkeitsmaxima vom Falltyp 3 können also nicht durch das Modell B erklärt werden.

Zusammenfassend könnten mit den Modellen A und B zwar die ungewöhnlichen Sedimentationsbedingungen und örtliche Metallausfällungen im Zusammenhang mit den Scherfestigkeitsmaxima erklärt werden, nicht aber die speziellen Prozesse, die zur nachgewiesenen SiO_2 -Zementation (und zur CaCO_3 -Zementation im äquatorialen Atlantik) geführt haben, welche die Grundlage der Sedimentverfestigung bilden.

(C) Erklärung der Scherfestigkeitsmaxima durch Annahme spezieller Stoffquellen zu bestimmten Zeiten:

Ein wesentliches Indiz für eine gemeinsame Entstehungsursache aller Scherfestigkeitsmaxima in der Norwegischen See könnten ihre einheitlichen Alter sein (Abb. 24). Diese Alter fallen zum einen auf die Eis-Abschmelzphasen im frühen Sauerstoffisotopenstadium 1, späten Stadium 6 und Stadium 10 und zum anderen auf Vereisungs-Höhepunkte und analoge ozeanographische Situationen (Ästuar-Modell, vergl. S.67) zur Zeit der Sauerstoffisotopensubstadien 3.3, 6.2, 6.3, 6.4, 6.6, 9.3 und eventuell 8.2. Sauerstoff- und Kohlenstoffisotopenkurven von planktischen Foraminiferen deuten während der ersten Gruppe dieser Zeitabschnitte sowohl auf Temperaturerhöhungen im Oberflächenwasser wie möglicherweise auf merklich erhöhte Schmelzwasserzufuhr in das Europäische Nordmeer [Vogelsang, 1990]. Denkbar wäre, daß alle diese Zeitab-

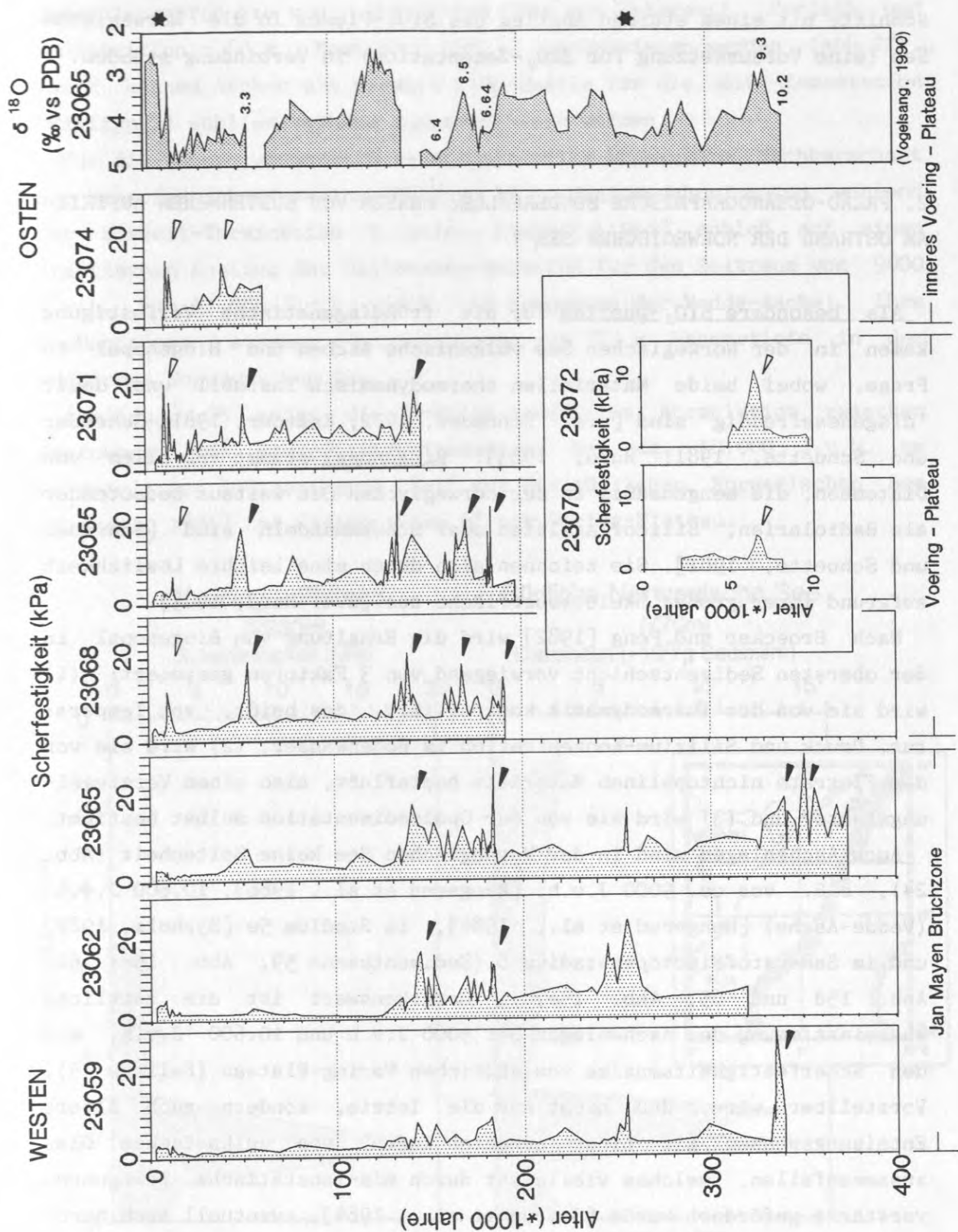


Abb. 24: Altersstellung der Scherfestigkeitsmaxima, Falltyp 2 (▴) und 3 (▾), während der letzten 350.000 Jahre. Sterne markieren Aschenlagen. (Einstufungskorrektur bei Stadium 6.2 im Sedimentkern 55: Betrifft Scherfestigkeitsmaximum bei 133.000 J.v.h., korrigiert 140.000 J.v.h.).

schnitte mit einem starken Anstieg des SiO_2 -Fluxes in die Norwegische See (eine Voraussetzung für SiO_2 -Zementation) in Verbindung stünden.

2. PALÄO-OZEANOGRAPHISCHE SONDERFÄLLE: PHASEN VON KÜSTENNAHEM AUFTRIEB AM OSTRAND DER NORWEGISCHEN SEE ?

Als besondere SiO_2 -Quellen für die frühdiagenetische Verfestigung kämen in der Norwegischen See vulkanische Aschen und Biogenopal in Frage, wobei beide Materialien thermodynamisch instabil und damit 'diagenesefreudig' sind [u.a. Schrader, 1972; Kastner, 1981; Schrader und Schuette, 1981; Hurd, 1983]. Biogenopal stammt vor allem von Diatomeen, die mengenmäßig in der Norwegischen See weitaus bedeutender als Radiolarien, Silicoflagelaten oder Schwammnadeln sind [Schrader und Schuette, 1981]. Sie zeichnen sich durch eine leichte Löslichkeit aufgrund ihrer großen Skelettoberfläche aus [u.a. Hurd, 1983].

Nach Broecker und Peng [1982] wird die Erhaltung von Biogenopal in der obersten Sedimentschicht vorwiegend von 3 Faktoren gesteuert: (1) wird sie von der Thermodynamik kontrolliert, das heißt, von Temperatur, Druck und Silizium-Konzentration im Bodenwasser, (2) wird sie von der Fluxrate nichtopalinen Materials beeinflusst, also einem Versiegelungsfaktor und (3) wird sie von der Opalsedimentation selbst bestimmt.

Auch Aschenlagen sind in der Norwegischen See keine Seltenheit (Abb. 24), z.B. vor ca. 9000 J.v.h. [Mangerud et al., 1986], 10.600 J.v.h. (Vedde-Asche) [Mangerud et al., 1984], im Stadium 5e [Sjøholm, 1987] und im Sauerstoffisotopenstadium 8 (Sedimentkerne 59, Abb. 15c; 62, Abb. 15d und 65, Abb. 15e). Bemerkenswert ist die zeitliche Übereinstimmung der Aschenlagen bei 9000 J.v.h und 10.600 J.v.h. mit den Scherfestigkeitsmaxima vom südlichen Vøring-Plateau (Falltyp 3). Vorstellbar wäre, daß nicht nur die letzte, sondern auch ältere Enteisungsphasen mit einer erhöhten Zufuhr von vulkanischem Glas zusammenfallen, welches vielleicht durch eis-isostatische Bewegungen verstärkt gefördert wurde [Sejrup et al., 1984], eventuell auch durch Strömungen verstärkt in die Norwegische See transportiert wurde. Im NSDW, das an gelöstem Silizium besonders untersättigt ist [u.a. Broecker und Peng, 1982], dürfte die Umwandlung von leichtlöslichem vulkanischem Glas deutlich beschleunigt werden.

Im direkten Umkreis der Scherfestigkeitsgipfel konnte allerdings - trotz gezielter Suche nach den Aschenlagen - kein Anstieg der

Umwandlungsprodukte von vulkanischem Glas wie Palagonit, Zeolith und Montmorillonit [u.a. Kastner, 1981], nachgewiesen werden (Abb.22). Damit können Aschen als primäre SiO_2 -Quelle für die SiO_2 -Zementation (Falltyp 2) wohl weitgehend ausgeschlossen werden.

Für die Genese wesentlich bedeutungsvoller könnte die Nachbarschaft der Scherfestigkeitsmaxima (Falltyp 3) zu Diatomeenhorizonten während der Eiszeit-Termination 1 sein. Stabell [1986] schloß auf einen drastischen Anstieg der Diatomeenproduktion für den Zeitraum von 9000 J.v.h. bis 11.000 J.v.h. (d.h. im Hangenden der Vedde-Asche). Ihre Beobachtungen stammen von Sedimenten aus 770 m Wassertiefe in der südlichen Norwegischen See.

Abbildung 25 zeigt die präzise zeitliche Korrelation zwischen Diatomeen- und Scherfestigkeitsmaximum bei ca. 10.000 J.v.h. am Beispiel von Sedimentkerne 28-18 aus der südlichen Norwegischen See [Stabell, 1986] und Sedimentkern 68 vom Vøring-Plateau.

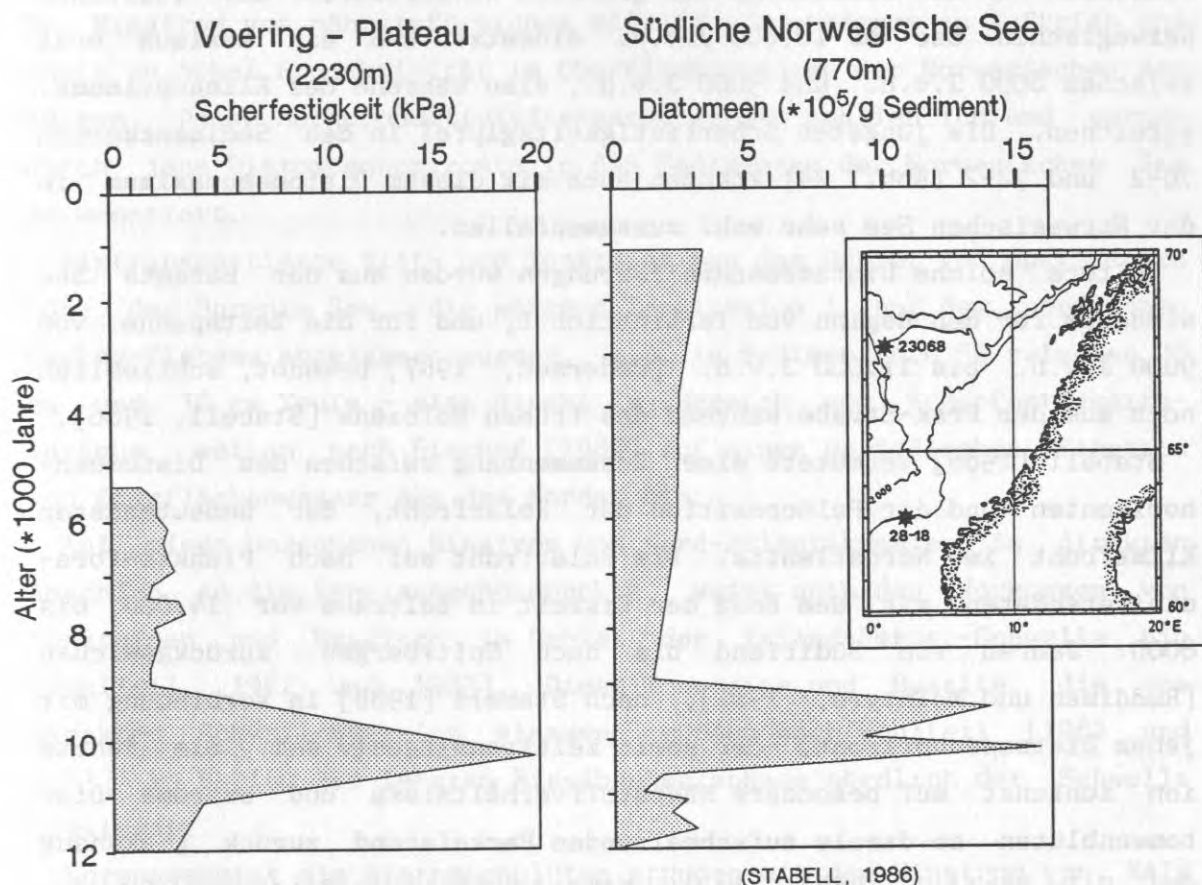


Abb. 25: Zeitliche Korrelation zwischen Diatomeen- und Scherfestigkeitsmaximum bei ca. 10.000 J.v.h. am Beispiel von Sedimentkern 28-18 vom südlichen norwegischen Kontinentalhang aus 770 m Wassertiefe [Stabell, 1986] und Sedimentkern 68 vom Vøring-Plateau aus 2230 m Wassertiefe.

Einen Anstieg der Diatomeenproduktion zwischen ca. 13.000 J.v.h. und 10.600 J.v.h. (also im Liegenden der Vedde-Asche) beobachten auch Bjørklund et al. [1979], Jansen et al. [1983] und Jansen und Bjørklund [1985] in Sedimentkernen aus der südlichen Norwegischen See zwischen 990 m bis 1300 m Wassertiefe. Eine genauere stratigraphische Einstufung dieser Diatomeenhorizonte war aufgrund stark schwankender Sedimentationsraten dort nicht möglich [Jansen et al., 1983]. Sie könnten deshalb zeitlich durchaus auch mit den Scherfestigkeitsmaxima zwischen 14.000 und 13.000 Jahren auf dem Vøring-Plateau zusammenfallen.

Bemerkenswert ist, daß die Diatomeenhorizonte in den Sedimenten der Norwegischen See während der Termination 1 unterhalb von 1300 m Wassertiefe fehlen, bei zum Teil ähnlichen Sedimentationsraten wie in den flacheren Wassertiefen [Pedersen, 1987; Pedersen et al., 1988; Rump-Schenk, 1988 und Karpuz, 1989]. Nach Karpuz [1989] würden die Diatomeen in den Sedimenten aus größeren Wassertiefen der südlichen Norwegischen See ab 10.000 J.v.h. einsetzen und ein Maximum erst zwischen 8000 J.v.h. und 5000 J.v.h., also während des Klimaoptimums, erreichen. Die jüngsten Scherfestigkeitsgipfel in den Sedimentkernen 70-2 und 72-2 (Abb. 24) könnten auch mit diesem Diatomeenmaximum in der Norwegischen See sehr wohl zusammenfallen.

Weitere solche Diatomeenanreicherungen wurden aus der Barents See wiederum für den Beginn von Termination 1_A und für die Zeitspanne von 9000 J.v.h. bis 11.000 J.v.h. [Pedersen, 1987] bekannt, schließlich noch aus der Fram-Straße während des frühen Holozäns [Stabell, 1986].

Stabell [1986] vermutete einen Zusammenhang zwischen den Diatomeenhorizonten und der Paläoposition der Polarfront, der bedeutendsten Klimafront im Nordatlantik. Die Polarfront sei nach Planktonforaminiferendaten mit dem Ende der Eiszeit im Zeitraum vor 14.000 bis 8000 Jahren von Südirland bis nach Spitzbergen zurückgewichen [Ruddiman und McIntyre, 1981], nach Stabell [1986] in Verbindung mit jenem Diatomeenhorizont, der somit zeittransgressiv sei. Sie führte ihn zunächst auf besondere Nährstoffverhältnisse und extreme Diatomeenblüten am damals aufschmelzenden Packeisrand zurück [Sakshaug und Holm-Hansen, 1984]. In der Nähe des heutigen Eisrandes in der Framstraße hat Stabell [1987] jedoch dann nachgewiesen, daß die rezente Diatomeensedimentation dort in keiner Weise jenen Umfang erreicht, der sich in den fossilen Diatomeenhorizonten dokumentiert; die gegebene Deutung ist also rezent-aktualistisch nicht nachvollziehbar.

Die Diatomeenhorizonte in eng benachbarten Sedimentkernen der südlichen Norwegischen See (Entfernung ca. 100 km), die im Hangenden und im Liegenden der Vedde-Asche auftreten (vgl. S. 70), könnten nach Jansen et al. [1983] auch auf zwei getrennte Abschnitte mit hoher Diatomeenproduktion hinweisen. Darauf aufbauend kommen Jansen et al. [1983], Jansen und Bjørklund [1985] und Jansen und Erlenkeuser [1985] noch zu einem anderen Modell, um auf eine andere Weise als durch Packeisschmelze die extremen Diatomeenblüten während Eiszeit-Termination I zu erklären - durch eine andersartige Ozean-Zirkulation.

Nach benthischen Foraminiferendaten sowie Kohlenstoff- und Sauerstoffisotopendaten vermuten sie eine kurzfristige Umkehr der Zirkulation in der Norwegischen See zu einem Ästuar Modell während der Eis-Abschmelzphasen, vergleichbar mit der rezenten Zirkulation in der Ostsee. Ein verstärkter oberflächennaher Ausstrom infolge hoher Schmelzwasserzufuhr würde dabei durch den bodennahen Einstrom von nordatlantischem, salinarem Zwischenwasser (NAIW) kompensiert werden. Der Einstrom von nährstoffreichem NAIW könnte wiederum zu Auftrieb und damit zu hoher Produktivität im Oberflächenwasser der Norwegischen See führen. Diese Hochproduktivitätsphasen würden schließlich und gerade durch jene Diatomeenhorizonte in den Sedimenten der Norwegischen See dokumentiert.

Eistransportierte Silt- und Tonsteine aus dem Gebiet von Spitzbergen oder der Barents See, die während Termination 1_A auf dem nördlichen Vøring-Plateau abgelagert wurden, z.B. im Sedimentkern 55 zwischen 28 cm und 30 cm Teufe - also direkt im Bereich vom Scherfestigkeitsmaximum, weisen nach Bischof [1989] auf einen periodischen Einstrom von Oberflächenwasser aus dem Norden hin.

Auf einen bodennahen Einstrom von Nord-Atlantikwasser im direkten Anschluß an die Vereisungshöhepunkte, weist auch das Vorkommen von Tonsteinen und Basalten im Gebiet der Island-Færøer-Schwelle hin [Wohlfeil, 1982 und 1983]. Diese Tonsteine und Basalte, die vom direkten Schwellenbereich stammen, wurden nach Wohlfeil [1982 und 1983] zu Beginn der letzten Eis-Abschmelzphase nördlich der Schwelle abgelagert.

Vorausgesetzt die Diatomeenblüten stünden mit dem Einstrom von NAIW in die Norwegische See im Zusammenhang, so müßten die Diatomeenhorizonte oder zumindest ein Anstieg der Diatomeensedimentation während der kritischen Zeitabschnitte auch in den Sedimenten weiter westlich vom norwegischen Kontinentalhang, also z.B. auf dem Vøring-Plateau auftreten. Hier liegt die Vermutung nahe, daß Scherfestigkeitsmaxima,

die auf SiO_2 -Zementation beruhen, Relikte von diesen Diatomeen-reichen Sedimentlagen sein könnten.

Fraglich bleiben die Faktoren, die einmal zur Auflösung und einmal zur Erhaltung der Diatomeen beigetragen haben könnten.

Die erste und beste Erklärung wäre küstennaher Auftrieb. Er führt selbstverständlich zu höheren Diatomeen- und C_{org} -Fluxraten am oberen norwegischen Kontinentalhang (größeres Nährstoffangebot) als westlich davon. Starke Nordwinde, die Schmelzwasser aus der nördlichen Norwegischen See nach Süden treiben würden - vergleichbar mit einem 'Eastern Boundary Current', könnten dabei der Antriebsmotor für das Auftriebsgeschehen sein. Solche Nordwinde könnten in Anlehnung an Crowley und Häkkinen [1988] und Keffer et al. [1988] kurzfristig einen massiven Auftrieb am norwegischen Kontinentalhang erzeugen.

Eine zweite Möglichkeit zur Erklärung wäre ein Zusammenhang zwischen dem Fehlen der Diatomeenhorizonte westlich vom norwegischen Kontinentalhang und dem stark an Silizium untersättigten NSDW. Eine bessere Erhaltung von Diatomeen wäre zu erwarten, wenn sie nicht unmittelbar im Einflußbereich des NSDW sedimentiert werden, wie z.B. die Diatomeenhorizonte am norwegischen Kontinentalhang [Jansen et al., 1983]. Auch Bohrmann [1988] zeigt eine deutlich bessere Erhaltung von Biogenopal auf dem inneren Vøring-Plateau als am äußeren Vøring-Plateau für die letzten 2.56 Millionen Jahre.

Nach der derzeitigen Lage der Befunde (z.B. eistransportiertes Material aus der Barents See, Diatomeenlagen am oberen norwegischen Kontinentalhang) würden wir der ersten Deutung den Vorzug geben.

Paläo-ozeanographische Situationen, wie sie für die letzten 14.000 Jahre in der Norwegischen See geschildert wurden und möglicherweise zu Diatomeenblüten bzw. Scherfestigkeitsmaxima geführt haben könnten, müßten dort auch während den vorangehenden 350.000 Jahren wiederholt aufgetreten sein.

Bei Scherfestigkeitsspitzen in SiO_2 -zementierten laminierten Sedimenthorizonten vom Typ c (Abb. 23) wären analoge Hochproduktivitätsperioden immer wieder zu erwarten. Dafür spricht: (1) Diese Horizonte enthalten Eisbergfracht aus der Barents See [Bischof et al. im Druck], (2) sie stehen zeitlich im Zusammenhang mit Temperaturerhöhungen und möglicherweise deutlich erhöhter Schmelzwasserzufuhr in die Norwegische See (vgl. S. 66) und (3) fehlen die C_{org} -reichen, schwarzen und laminierten Sedimentlagen zentralen und westlichen Europäischen Nordmeer [Gehring, 1989; Birgisdottir, freundliche mündliche Mitteilung].

Die hohen C_{org} -Konzentrationen in den verfestigten Sedimenthorizonten vom Typ c (Abb. 23) wären das direkte Gegenstück zu den auftriebsbedingten extremen Diatomeenblüten am Ostrand der Norwegischen See. Einerseits deuten der C/H-Index nach Rock-Eval Analysen [Henrich et al. 1989] und etwas leichte Isotopenwerte im Sedimentkern 55 [Erlenkeuser, freundliche mündliche Mitteilung] auf eine teilweise terrestrische Herkunft des Kohlenstoffs. Andererseits ist wohl auch der marine organische Kohlenstoffgehalt in diesen Sedimentlagen deutlich erhöht. Eine voll quantitative Abschätzung ist derzeit noch nicht möglich.

Allerdings liefert das Verhältnis zwischen organischem Kohlenstoff und reduziertem Schwefel im Sediment (C/S-Verhältnis) noch ein zusätzliches wichtiges Argument:

Nach Berner [1970, 1984 und 1989] wird in 'normal' marinen Sedimenten, die von einer oxischen Wassermasse überlagert werden, das Sulfat durch erhöhten C_{org} -Gehalt im Sediment reduziert. In solchen marinen Sedimenten ist C_{org} und reduzierter Schwefel bei einem etwa konstanten C/S-Verhältnis von 2.8 positiv korreliert [Goldhaber und Kaplan, 1974; Berner, 1982 und Leventhal [1983].

Genau dieses C/S-Verhältnis von 2.8 zeigen die normal konsolidierten dunklen Sedimenthorizonte vom Typ b (Abb. 23) direkt unterhalb der Scherfestigkeitsmaxima, die sich durch hohe Konzentrationen von C_{org} und reduziertem Schwefel auszeichnen (Abb. 26). Hier dürfte also der Kohlenstoff vor allem marinen Ursprungs sein.

In allen übrigen Sedimenten der Norwegischen See konnte hingegen wenig oder kein reduzierter Schwefel nachgewiesen werden (Abb. 26). Die C/S-Verhältnisse sind dort somit ungewöhnlich hoch, 'nicht pelagisch'. Dies gilt besonders für die noch immer C_{org} -reichen, aber schwefelarmen und laminierten Sedimente vom Typ c (Abb. 23) mit den Scherfestigkeitsmaxima (Abb. 26). Diese nur 7 cm bis 15 cm mächtigen Horizonte, könnten ihren Schwefel eventuell postsedimentär, nach Rückgang der besonderen Kohlenstoff-Sedimentations-Verhältnisse, wieder an die Wassersäule im Porenwasseraustausch verloren haben [u.a. Goldhaber et al., 1977].

Hohe C/S-Verhältnisse sind im allgemeinen charakteristisch für Süßwassersedimente [Berner und Reisswell, 1984; Berner 1989]. In seltenen Fällen wurden dermaßen hohe C/S-Verhältnisse aber auch in marinen Sedimenten beobachtet, beschränkt auf die Auftriebsgebiete vor Süd-West Afrika, Oman und Peru, also auf besonders markante Hochproduktionsgebiete [Morse und Emeis, im Druck]. Auch hier stellt sich

die Frage, ob diese hohen C/S-Verhältnisse, jeweils an die Hangengrenze von einzelnen Lagen mit C_{org} -Maxima gebunden sind, eine Frage, die mit der vorhandenen Probenauflösung leider nicht beantwortet werden kann.

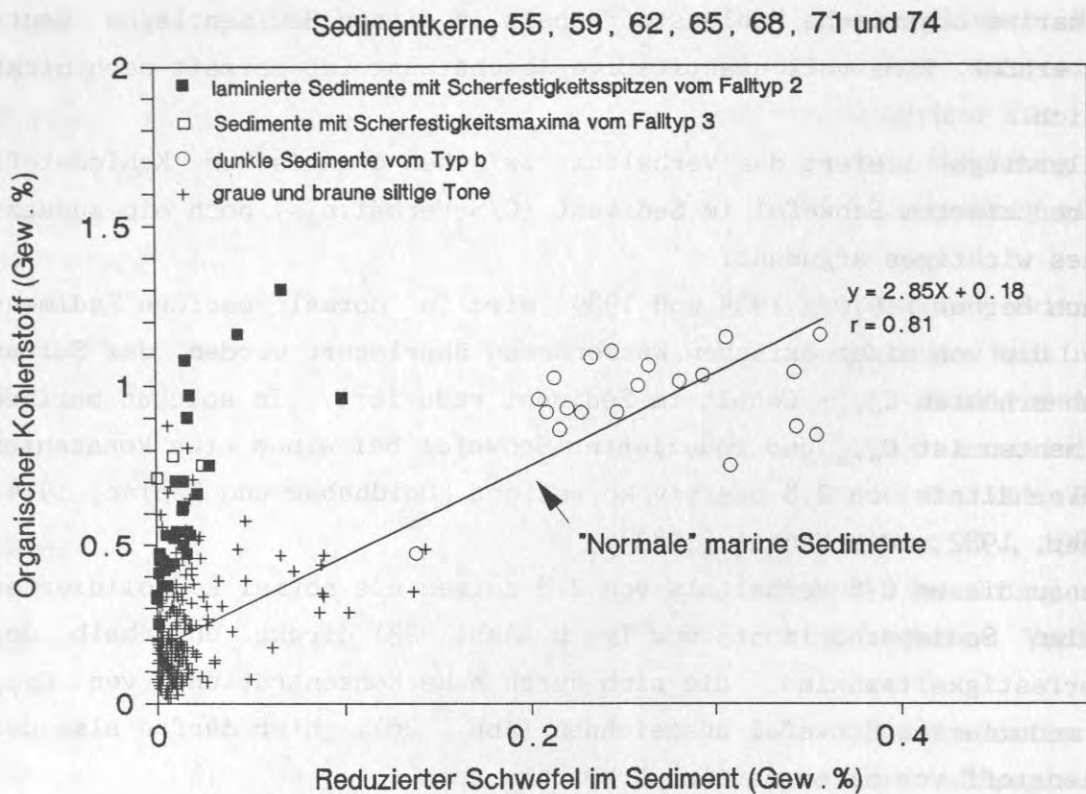


Abb. 26: Korrelation zwischen organischem Kohlenstoff und reduziertem Schwefel in Sedimentkernen aus der Norwegischen See.

Implikationen verfestigter Sedimentlagen: Seismische Reflektoren

Im Folgenden werden mögliche Auswirkungen der Scherfestigkeitsgipfel auf seismische Reflektoren diskutiert, wie sie sich aus einer langjährigen Zusammenarbeit mit Philipp [1989] ergeben haben. Zur Klärung dieser Frage wurden Scherfestigkeitsprofile aus dem Lofoten-Becken (Sedimentkern 58) und vom südlichen Vøring-Plateau (Sedimentkerne 68 und 74) mit hochauflösenden PARASOUND-Echolotaufzeichnungen aus der Umgebung der Kernstationen (Abb. 4) verglichen (aus technischen

Gründen, vgl. S. 11, waren keine weiteren Profil-Vergleiche möglich).

Nach Philipp [1989] erscheinen die Scherfestigkeitsprofile und Scherwellengeschwindigkeiten in der Norwegischen eng korreliert. Daher wäre es folgerichtig, wenn auch die Reflektoren der Echolotaufzeichnungen damit einhergehen würden.

Tatsächlich zeigt sich eine Übereinstimmung zwischen den Scherfestigkeitsprofilen und den Echolotaufzeichnungen, das heißt, die Teufen der Reflexionshorizonte und Scherfestigkeitsmaxima stimmen überein (Abb. 27). Selbst in Sedimentkern 58 spiegeln sich die im Vergleich zu den Sedimentkernen 68 und 74 nur leicht erhöhten Scherfestigkeitswerte in 104 cm und 579 cm Teufe als seismische Reflektoren wider (Abb. 27a). Zwei weitere Reflektoren markieren in diesem Profil die deutlichen Materialwechsel von tonigen Silten zu sandigen Sedimenten und umgekehrt, die an der Ober- und Untergrenze des 212 cm mächtigen Turbidites bei 188 cm und 400 cm Teufe auftreten (Abb. 27a).

Warum seismische Reflektoren mit Scherfestigkeitsgipfeln so weitgehend parallel laufen, wird deutlich, wenn wir die physikalischen Hintergründe von Reflektoren genauer betrachten [u.a. Telford et al., 1976].

Die akustische Impedanz, das Produkt aus der Kompressionswellengeschwindigkeit (P-Wellengeschwindigkeit oder V_p) und dem Feuchtraumgewicht (Γ_w) ist einer der wichtigsten seismischen Parameter [Hamilton, 1959, 1971; Mayer, 1979]. Die akustische Impedanz bestimmt die Menge der reflektierten Energie eines akustischen Signals beim Passieren unterschiedlicher Sedimenttypen. Es fehlen z.B. Reflexionshorizonte in homogenen Sedimenten, die allein durch Gravitationskompaktion verfestigt werden. Hier fehlen nämlich scharfe Impedanzunterschiede aufgrund der kontinuierlich ansteigenden Werte für das Feuchtraumgewicht und damit auch für die P-Wellengeschwindigkeit. Solche akustisch transparenten Sedimente sind allerdings die Ausnahme. Typisch für Tiefseesedimente sind eher dicht aufeinanderfolgende seismische Reflektoren, also scharfe Impedanzsprünge.

Über die Entstehungsursachen dieser Reflektoren in Seismogrammen niederfrequenter Sedimentecholote (zum Beispiel 3.5 kHz), also in oberflächennahen Sedimenten, wurde bereits viel nachgedacht. So besteht nach Damuth [1978] in der Norwegischen See ein nicht weiter erklärter Zusammenhang zwischen dicht aufeinanderfolgenden Reflektoren und dem Fehlen von grobkörnigen Sedimentschichten. Ein neuer Aspekt wären hier die Scherfestigkeitsgipfel. Mayer [1979] und Mienert [1985]

23058

Scherfestigkeit (kPa)

PARASOUND-Profil

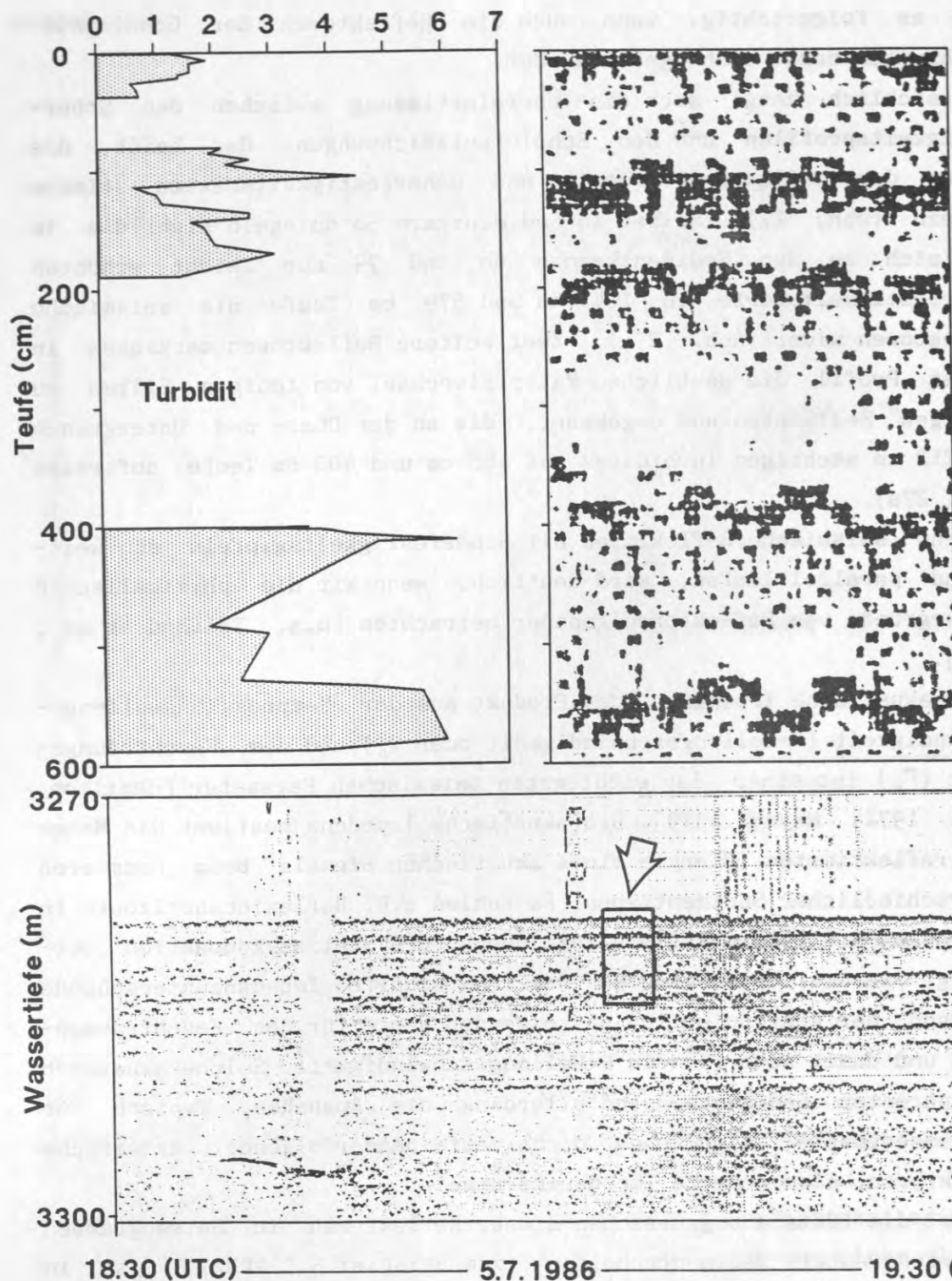


Abb. 27a: Korrelation zwischen hohen Scherfestigkeitswerten und seismischen Reflektoren im hochauflösenden PARASOUND-Echogramm am Beispiel der Station 58 aus dem Lofoten-Becken.

23068

Scherfestigkeit (kPa)

PARASOUND-Profil

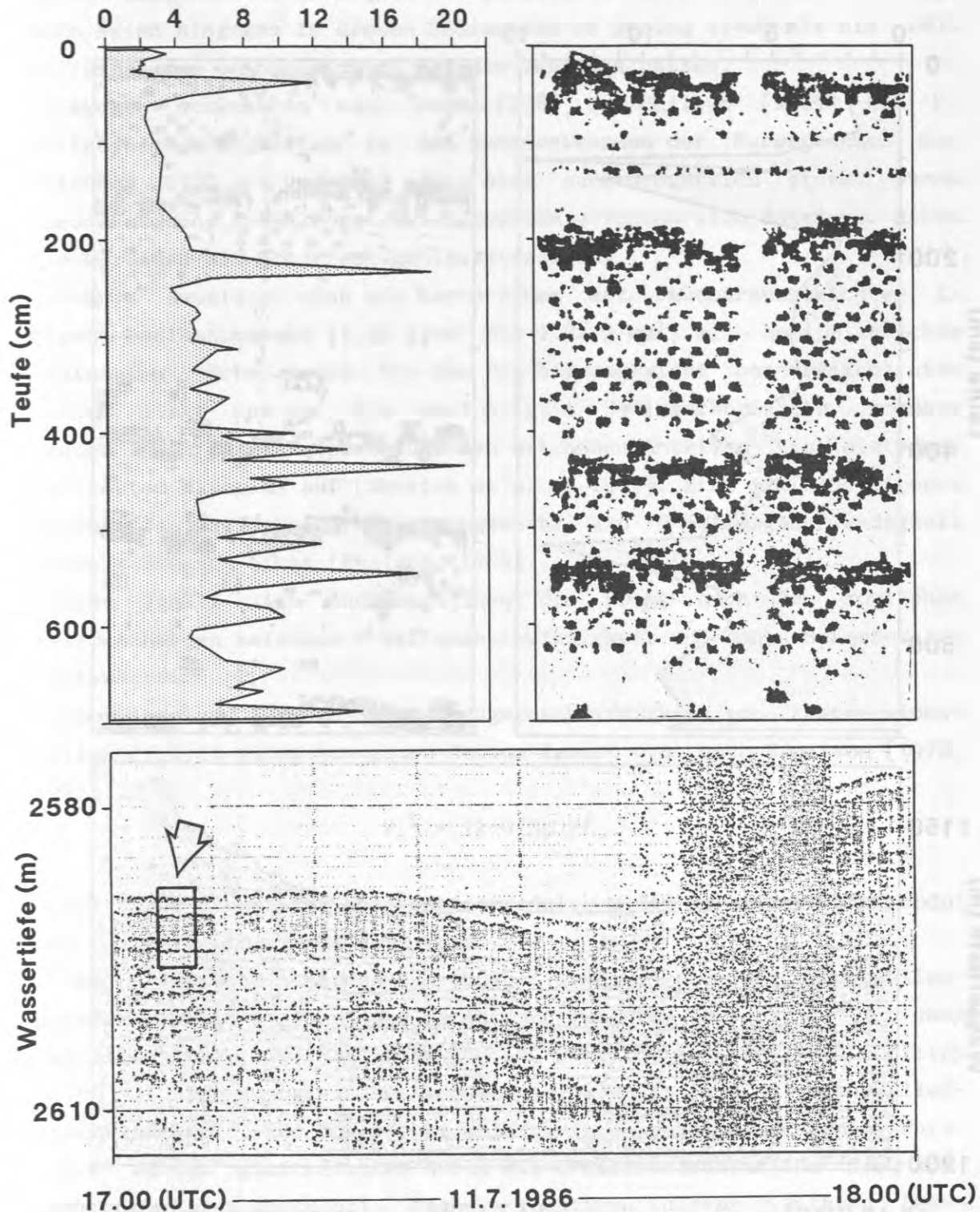


Abb. 27b: Korrelation zwischen Scherfestigkeitsspitzen, Falltyp 2, und seismische Reflektoren im hochauflösenden PARASOUND-Echogramm am Beispiel der Station 68 vom südlichen Vøring-Plateau.

23074-1

Scherfestigkeit (kPa)

PARASOUND-Profil

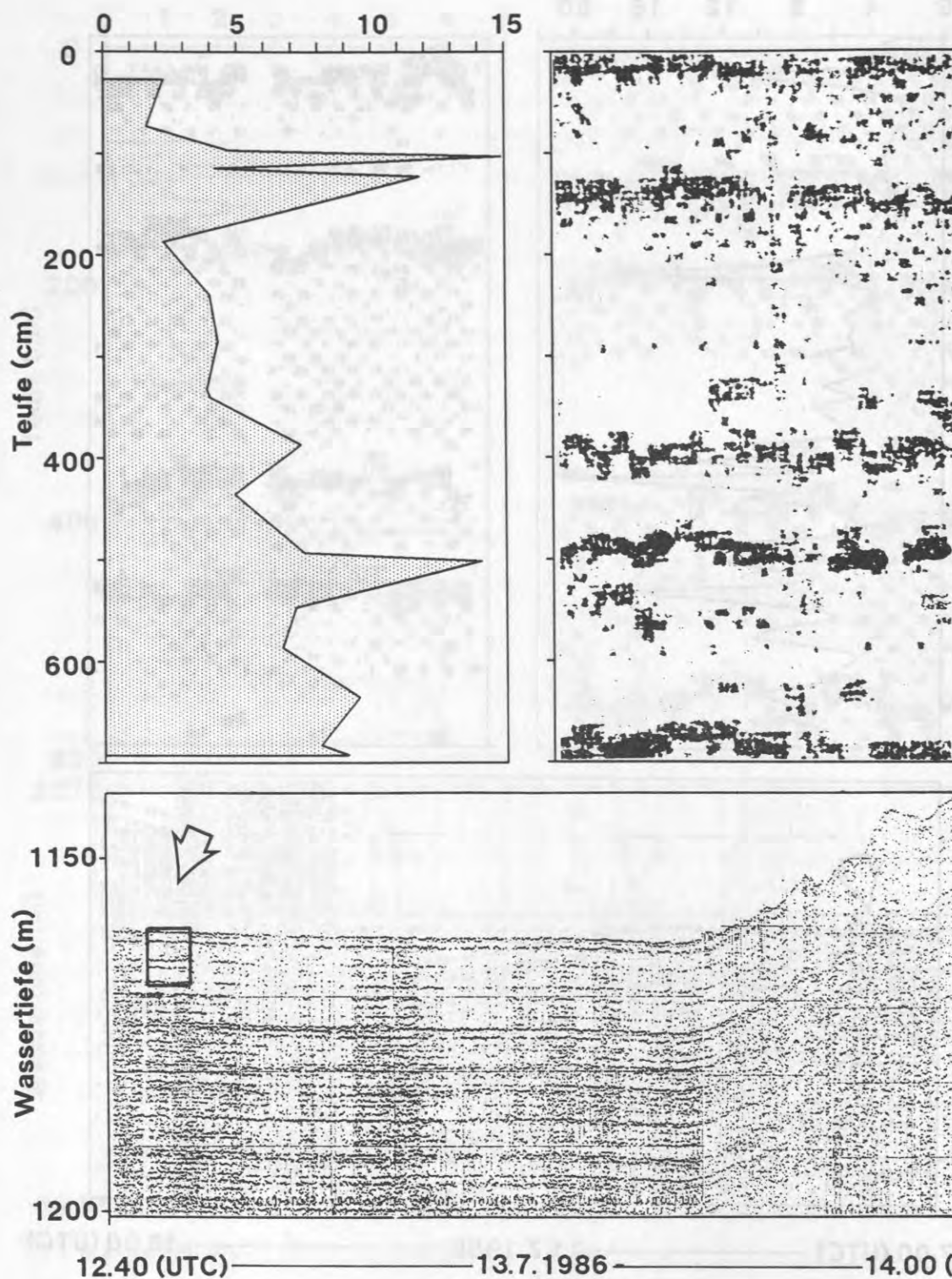


Abb. 27c: Korrelation zwischen hohen Scherfestigkeitswerten und seismischen Reflektoren im hochauflösenden PARASOUND-Echogrammen am Beispiel der Station 74 vom südlichen Vøring-Plateau.

sehen einen Zusammenhang zwischen seismischen Reflektoren in CaCO_3 -reichen Sedimenten vom Pazifik und Atlantik und Schwankungen des Feuchtraumgewichtes (0.2 g/cm^3). Variationen der P-Wellengeschwindigkeit seien hingegen in diesen Sedimenten so gering (1400 m/s bis 1600 m/s), daß sie keinen Einfluß auf die Impedanz hätten.

Dagegen schwankten nach Neben [1988] und Philipp [1989] die P-Wellengeschwindigkeiten in den Sedimentkernen der Norwegischen See zwischen 1300 m/s und 1950 m/s , also außerordentlich stark. Durch besonders hohe P-Wellengeschwindigkeiten zeichnen sich dabei vor allem die Bereiche mit Scherfestigkeitsspitzen aus.

Ebenso deutlich sind die Variationen des Feuchtraumgewichtes in diesen Sedimentkernen (1.26 g/cm^2 bis 1.98 g/cm^2) mit hemipelagischen Sedimenten. Hohe Werte für das Feuchtraumgewicht beschränken sich jedoch nicht nur auf die verfestigten Sedimenthorizonte, sondern treten auch immer wieder zusammen mit hohen Anteilen von eistransportiertem Material auf [Henrich et al., 1989]. Eine einfache lineare Korrelation zwischen Feuchtraumgewicht und P-Wellengeschwindigkeit besteht demnach nicht [Philipp, 1989].

Hier stellt sich noch deutlicher die Frage nach den möglichen Zusammenhängen zwischen P-Wellengeschwindigkeit und hohen Scherfestigkeitswerten.

Die Gleichung für die Ausbreitungsgeschwindigkeit von Kompressionswellen (V_p) in einem homogenen Medium lautet u.a. nach Hamilton [1970, 1971]:

$$V_p^2 = (k + 4/3\mu) / \Gamma_w,$$

wobei k der dynamische Kompressionsmodul, μ der dynamische Schermodul und Γ_w das Feuchtraumgewicht sind.

Der dynamische Schermodul ist dabei eine Funktion der Scherwellengeschwindigkeit (V_s) und des Feuchtraumgewichtes ($\mu = V_s^2 * \Gamma_w$). Nach Hamilton [1970, 1971]; Gealy [1971], Schultheiss [1985] und Philipp [1989] (Daten vom gleichen Kernmaterial wie hier) sind Scherwellengeschwindigkeit und Scherfestigkeit positiv korreliert. Diese Parameter werden gleichermaßen durch die Sedimentstruktur und die komplexen Faktoren gesteuert, die die relativen interpartikulären Bewegungen unter Scherbeanspruchung beschränken [Hamilton, 1971].

Eine drastische Erhöhung des dynamischen Schermoduls kann in rein pelagischen Karbonatsedimenten wohl ausschließlich durch Zementation verursacht werden [Nafe und Drake, 1963; Gealy, 1971; Schlanger und Douglas, 1974]. Aus diesem Grund wird auch die erhöhte P-Wellenge-

schwindigkeit von zementierten Sedimenthorizonten vor allem durch den dynamischen Schermodul bestimmt. Änderungen des Feuchtraumgewichtes sind im Vergleich dazu als Faktor vernachlässigbar.

Die unerwartet hohen P-Wellengeschwindigkeiten in den Sedimentkernen der Norwegischen See, die jeweils mit den Scherfestigkeitsmaxima einhergehen [Philipp, 1989], sind demnach auf frühdiagenetische Zementationsphasen zurückzuführen. Diese Zementation führt nämlich neben einem deutlichen Anstieg der Scherfestigkeit und des dynamischen Schermoduls zu einer Erhöhung des Kompressionsmoduls der Matrix [Philipp, 1989].

In den oberflächennahen Sedimenten aus der Norwegischen See kann erstmals eine Korrelation zwischen Sedimentabschnitten mit hohen Scherfestigkeitswerten und seismischen Reflektoren gezeigt werden. Neu ist auch, daß diese Reflexionshorizonte nicht wie bisher angenommen wurde auf Schwankungen des Feuchtraumgewichtes, sondern auf Änderungen des Festigkeitsgrades der Sedimente zurückzuführen sind.

Eine wichtige Folge der Scherfestigkeitsmaxima ist, daß sie deutliche und engständige seismische Reflektoren in ansonsten relativ einförmigen hemipelagischen Sedimentpaketen bewirken. Damit werden die genannten kurzfristigen paläo-ozeanographischen Sonderfälle großräumig und über verschiedene Wassertiefenbereiche hinweg kartierbar. Allerdings müssen dafür routinemäßig hochauflösende Sedimentecholotsysteme, wie z.B. das PARASOUND, zum Einsatz kommen.

SCHLUSSFOLGERUNGEN

Zusammenfassend ergeben sich folgende Befunde, die eine gemeinsame Ursache nahelegen:

- * die silikatische Zementation bei Scherfestigkeitsspitzen,
- * die Diatomeenlagen am oberen Kontinentalhang von Norwegen,
- * die hohen C_{org} -Gehalte der schwarzen und laminierten Sedimentlagen, die gegen Westen hin auskeilen,
- * die hohen Schwefel-Werte in den schwarzen Sedimentlagen,
- * die sehr niedrigen Schwefel-Werte in den laminierten Sedimentlagen
- * und die Herkunft von Eisbergfracht am Vøring-Plateau aus der Barents See.

Diese gemeinsame Ursache könnten starke Nordwinde und kurzfristige Episoden von küstennahem Auftrieb vor dem westlichen europäischen Kontinentalrand sein. Deren Einfluß natürlich nach Westen hin rasch abnahm, was sich auch im Fehlen der schwarzen und der laminierten Sedimentlagen, der kieseligen Sedimente und damit zugleich auch der Scherfestigkeitsmaxima im westlichen und zentralen Europäischen Nordmeer äußert. Die ungewöhnliche Sedimentzusammensetzung (Abb. 23) bei den Scherfestigkeitsspitzen innerhalb der Sauerstoffisotopenstadien 3 bis 10 deutet darauf hin, daß die Auftriebs-Phasen in ihrer Intensität damals viel drastischer gewesen sein müssen als bei Eiszeit-Termination I_A und I_B , wo nur Opal-Maxima aber die Anreicherungen von C_{org} und Schwefel nicht mehr auftreten. Möglicherweise geht der Unterschied jedoch auf eine andere Position der Küstenlinie im Zusammenhang mit unterschiedlicher eis-isostatischer Niederbeugung des Schelfs einher.

Im Zusammenhang mit diesen Auftriebs-Phasen wären in der Norwegischen See folgende Umweltbedingungen denkbar, die zur wiederholten Ablagerungsfolge graubrauner, siltiger Tone (Sedimente vom Typ a), schwarzgrauer, sandiger Tone (Sedimente vom Typ b) und dunkel-laminierter, sandiger Tone (Sedimente vom Typ c) mit den Scherfestigkeitsspitzen geführt hätten, z.T. auch nur im Zusammenhang mit der Fazies vom Typ a allein.

Grundsätzlich waren es wohl, nach dem letzten Stand der $\delta^{18}O$ -Stratigraphie von Vogelsang [1990], zwei leicht unterschiedliche Klima-Situationen:

Situation 1 zeigt sich exemplarisch an der frühen Eiszeit-Termination I (z.B. 13.600 J.v.h.) und ähnlichen inter-kaltstadialen Abschmelzphasen wie bei den Sauerstoffisotopen-Substadien 3.3, 6.3 und 6.5 (jedoch nicht am Ende von Substadium 6.2, bei Termination II_A).

Diese Zeiten sind durch ausgedehnte Schmelzwasserverbreitung und ästuarine Zirkulation gekennzeichnet, die gegenüber kurzen Schüben örtlicher, also antiästuariner Tiefenwasserbildung zeitlich vorherrschte [Vogelsang, 1990].

Situation 2 herrschte bei vollen Eiszeitmaxima wie bei den Sauerstoffisotopen-Substadien 6.6, 8.2, 10.2 und eventuell nach 6.4. In diesen Zeiten spielte Schmelzwasser keine Rolle. Die Norwegische See hatte aber ebenfalls eine ästuarine Zirkulation wie bei Situation 1, wobei die Tiefenwasserbildung in der Norwegischen See fast völlig zum Stillstand kam [Vogelsang, 1990]. Der Sauerstoffgehalt im Tiefenwasser wurde, begrenzt durch den Einstrom von damals wohl sehr gut durchlüftetem Nordatlantischem Zwischenwasser (NAIW), erneuert [Boyle und Keigwin, 1989].

Die schwärzlichen Sedimente vom Typ b (Abb. 23) dokumentieren damals mit der Summe ihrer Merkmale eine drastische Reduzierung des bodennahen Sauerstoffgehaltes in der Osthälfte bzw. am Ostrand der Norwegischen See, vor allem vom Vøring-Plateau nach Osten (Abb. 24). Hier im Osten des Europäischen Nordmeers muß nach Sedimentfazies und planktischen Sauerstoff- und Kohlenstoffisotopenwerten angenommen werden, daß (a) die Norwegische See auch im Vollglazial - zumindest im Sommer - am Ostrand noch eisfrei war [Vogelsang, 1990], und (b) bei Situation 1 und 2 in den Sommer-Monaten kräftige Nordwinde einen starken küstennahen Auftrieb erzeugten. Damit einher ging ein hoher örtlicher C_{org} - und SiO_2 -Flux, der zu örtlich begrenzter O_2 -Zehrung im Bodenwasser führte, über die anhaltende O_2 -Zufuhr durch das NAIW hinaus. Nach dem Ende dieser Auftriebsphasen, d.h. dem Ende der hohen C_{org} - und SiO_2 -Zufuhr, wurde postsedimentär dann die Redoxgrenze auf 7 cm und 15 cm Sedimenttiefe abgesenkt, das Sediment von Eisen-Oxid-Ausfällungen laminiert und, solange der Porenwasseraustausch und die postsedimentäre Bioturbation zur Bodenoberfläche anhielt, der Schwefel-Gehalt im Sediment wieder oxidiert und an das Meerwasser zurückgeführt. Das erhöhte SiO_2 -Angebot im Porenwasser führte damals über Kristallkrusten zur Sedimentverfestigung, den Scherfestigkeitsmaxima.

Zwischen der Bildung der schwarzen- und laminierten Sedimentlagen mit ihren Scherfestigkeitsmaxima und den Schmelzwasserschüben in der paläo-ozeanographischen Situation 1 ist hingegen kein ursächlicher Zusammenhang, wie von Henrich et al. [1989] gefordert, zu erkennen. Höchstens insofern, als daß diese Schübe von Schmelzwasser mit Zeiten von saisonal eisfreien Gebieten z.T. einhergehen.

Die (anaktualistischen) Auftriebsphasen am norwegischen Kontinentalrand sind also die eigentliche Ursache für die schwarzen und laminierten Sedimentlagen und Opal-Maxima und somit in letzter Konsequenz über die Scherfestigkeitsmaxima auch die Taktgeber für die Reflektorenfolge in den hochauflösenden PARASOUND- und 3.5 kHz-Echolotprofilen.

DANK

Für die intensive Betreuung und die vielen fruchtbaren Diskussionen bedanke ich mich recht herzlich bei Prof. M. Sarnthein.

Mein besonderer Dank gilt weiterhin Dr. F. C. Kögler, der mir immer mit Rat und Tat zur Seite stand, und mir hervorragende Arbeitsbedingungen ermöglichte.

Prof. J. Thiede zeigte immer Interesse am Fortgang meiner Arbeit, außerdem ermöglichte er mir die Teilnahme an zahlreichen Expeditionen, u.a. mit dem Bohrschiff JOIDES RESOLUTION.

Prof. Dr. R. Meissner, Dr. F. Theilen und der Arbeitsgruppe Marine Geophysik danke ich die sehr gute und freundschaftliche Zusammenarbeit.

Prof. A. Wetzel (Universität Basel) danke ich für viele anregende Diskussionen.

Prof. W. Berger und Prof. M. Kastner (Scripps Institution of Oceanography) danke ich für konstruktive und kritische Anmerkungen zu dieser Arbeit während meines Aufenthaltes in den USA.

Meiner Freundin und Kollegin E. Vogelsang habe ich besonders viel zu verdanken. Freundschaftliche und offene Diskussionen sowie ihre Anregungen haben maßgeblich zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen. Zudem stellte sie mir wie selbstverständlich ihre unveröffentlichten Daten zur Verfügung.

Dr. Holler danke ich für die hervorragende Zusammenarbeit und für die Vermittlung des ABC's der Bodenmechanik.

Den Mitarbeitern vom Geologischen Institut, SFB 313 und GEOMAR danke ich für vielfältige Diskussionen und Anregungen zu dieser Arbeit. Mein besonderer Dank gilt dabei folgenden Arbeitsgruppen, denen ich an dieser Stelle für die gute Zusammenarbeit, ihr stetes Interesse am Fortgang meiner Arbeit und vor allem für die immer problemlose Unterstützung danken möchte:

Dr. C. Samtleben, W. Reimann und U. Schuldt betreuten mich am Rasterelektronenmikroskop. Dr. F. Werner und W. Rehder unterstützten mich bei der Interpretation und Herstellung von Radiographien und Dünnschliffen. Dr. H. Lange und P. Fiedler führten zahlreiche Analysen am Röntgendiffraktometer durch. S. Perbrandt und B. Rippe fertigten Fotos und Zeichnungen an. Intensive fachliche Diskussionen führte ich mit Dr. W. Balzer, Dr. G. Bohrmann, Dr. H. Erlenkeuser Dr. M. Hartmann, Dr. P. Hempel, Dr. R. Henrich und Dr. J. Philipp.

Dr. H. Ackermann (Institut für Mineralogie, Universität Kiel) und Dr. G. Kuhn (Alfred Wegener Institut, Bremerhaven) betreuten mich an der Mikrosonde bzw. am Rasterelektronenmikroskop. Dr. R. Schreiber und Dipl. Ing. H. Wentzel (Krupp-Atlas Elektronik, Bremen) berieten mich bei der Interpretation von PARASOUND-Daten.

S. Koersgen, M. Maiwald, K. Pankratz und S. Wenkhöfer führten mit großer Einsatzbereitschaft zahlreiche Laborarbeiten in der ersten Phase meiner Arbeit durch. In der letzten Phase meiner Arbeit hatte ich besonderes Glück, hier zeichneten sich H. Gehring und T. Blanz durch einen unermüthlichen und selbstständigen Arbeitseinsatz (bei Tag und Nacht) aus.

Bei meinen Freunden bedanke ich mich herzlich für die Unterstützung während der Endphase dieser Arbeit.

Der Deutschen Forschungsgemeinschaft danke ich für die finanzielle Unterstützung.

Abschließend möchte ich der Besatzung der F.S. Polarstern und F.S. Meteor und vor allem N. Mühlhan für den großen Arbeitseinsatz an Bord danken.

LITERATUR

- Aagaard, K., J.H. Swift & E.C. Carmack [1985]: Thermohaline Circulation in the Arctic Mediterranean Sea.- *J. Geophys. Res.*, Vol. 90, Nr. C3: 4833-4846.
- Almagor, G. [1979]: A review: Marine geotechnical studies at continental margins.- *Rep. MG/79/3, Geol. Surv. of Israel, Jerusalem*: 1-100.
- Almagor, G. & G. Wisemann [1977]: Analysis of submarine slumping in the continental slope off the southern coast of Israel.- *Mar. Geotechn.*, Vol. 2: 349-388.
- Bé, A.W.H. & Gilmer, R.W. [1977]: A Zoogeographic and Taxonomic Review of Euthecosomatous Pteropoda.- In: Ramsey, A.T.S. (Hrsg.): *Oceanic Micropaleontology*, Vol. 1.- Academic Press, New York: 733-796.
- Berger, W.H. & T.C. Johnson [1976]: Deep-sea carbonates: Dissolution and mass wasting on Ontong-Java Plateau.- *Science*, 192: 785-787.
- Berger, W.H., R.C. Finkel, J.S. Killingley & V. Marchig [1983]: Glacial-Holocene transition in deep-sea sediments: manganese-spike in the east-equatorial Pacific.- *Nature*, 303: 231-233.
- Berner, R.A. [1970]: Sedimentary pyrite formation.- *Am. J. Sci.*, 268: 1-23.
- Berner, R.A. [1982]: Burial of organic carbon and pyrite sulfur in the modern ocean; its geochemical and environmental significance.- *Am. J. Sci.*, 282: 451-473.
- Berner, R.A. [1984]: Sedimentary pyrite formation: An update.- *Geochim. Cosmochim. Acta*, 48: 605-615.
- Berner, R.A. [1989]: Biogeochemical Cycles of Carbon and Sulfur and their Effects on Atmospheric Oxygen over Phanerozoic Time.- *Palaeogeogr., Palaeoclimat., Palaeoecol.*, 75: 97-122.
- Berner, R.A. & R. Raiswell [1984]: C/S method for distinguishing freshwater from marine sedimentary rocks.- *Geology*, 12: 365-368.
- Bjerrum, L.A. [1973]: Geotechnical problems involved in foundations of structures in the North Sea.- *Geotechnique*, 23(3): 319-358.
- Bjerrum, L.A. & N.E. Simons [1960]: Proc. specialty conference in shear strength of cohesive soils.- *American Society of Civil Engineers, Boulder, CO*.
- Bischof, J. [1989]: Dropstone Distribution in the Norwegian-Greenland Sea - Indications of a Pleistocene Circulation Pattern ?- *20th International Geological Congress Washington D.C. USA*, Vol. 3: S. 460.

- Bischof, J., J. Koch, M. Kubisch, R.F. Spielhagen & J. Thiede [in press]: Ice-rafted Coal Fragments in Quaternary Nordic Seas sediments: An Enigma.
- Bishop, A.W. & L. Bjerum [1960]: The Relevance of Triaxial Test to the Solution of Stability Problems.- Norges Geotekn. Inst., Blindern Oslo: 56 S..
- Bjørklund, K.R., J. Thiede & H. Holtedahl [1979]: Deglaciation of the southeastern Norwegian Sea towards the end of the last glacial age.- *Boreas*, 8: 133-135.
- Bohrmann, G. [1986]: Accumulation of Biogenic Silica and Opal Dissolution in Upper Quaternary Skagerrak Sediments.- *Geo-Marine Lett.*, 6: 165-172.
- Bohrmann, G. [1988]: Zur Sedimentationsgeschichte von biogenem Opal im nördlichen Nordatlantik und dem Europäischen Nordmeer [DSDP/ODP-Bohrungen 408, 642, 643, 644, 646 und 647].- *Ber. Sonderforschungsbereich 313, Univ. Kiel, Nr.9*: 1-221.
- Bouma, A.H. [1969]: Methods for the study of sedimentary structures.- John Wiley, New York: 458 S..
- Boyce, R.E. [1976]: Definition and laboratory technique of compressional sound velocity parameters and wet-water content, wet-bulk density, and porosity parameters by gravimetric and gamma ray attenuation techniques.- In: Kaneps, A.G. (Hrsg.): *Initial. Rep. Deep Sea Drill. Proj.*, 17.- U.S. Government Printing Office, Washington: 931-958.
- Boyle, E.A. & L. Keigwin [1987]: North Atlantic thermohaline circulation during the past 20,000 years linked to high-latitude surface temperature.- *Nature*, 330: 35-40.
- Broecker, W.S. & T.H. Peng [1982]: Tracers in the Sea.- Eldigo Press, Palisades, New York: 690 S..
- Bryant, W.R. & R.H. Bennet [1988]: Origin, Physical, and Mineralogical Nature of Red Clays: The Pacific Ocean basin as a Model.- *Geo-Marine Lett.*, 8: 189-249.
- Buckley, H.A., A.J. Easton & L.R. Johnson [1974]: Iron and manganese encrustations in Recent sediments.- *Nature*, 249: 436-437.
- Canfield, D.E. [1989]: Sulfate reduction and oxic respiration in marine sediments: implications for organic carbon preservation in euxinic environments.- *Deep-Sea Res.*, Vol. 36, Nr. 1: 121-138.
- Cita, M.B. & G. Spezzibottiani [1979]: Late Neogene paleoenvironment studies on carbonate content, grain size, and dissolution, cores 1-57 (DSDP site 397).- In: Laughter, F.H. & E.M. Fagenberg (Hrsg.):

- Initial Rep. Deep Sea Drill. Proj., Part A, 47.- U.S. Government Printing Office, Washington: 671-682.*
- Colley, S., J. Thomson, T.R.S. Wilson & N.C. Higgs [1984]: Post-depositional migration of elements during diagenesis in brown clay and turbidite sequences in the North East Atlantic.- *Geochim. Cosmochim. Acta*, 48: 1223-1235.
- Crowley, T.J. & S. Häkkinen [1988]: A New Mechanism for Decreasing North Atlantic Deep Water Production Rates During the Pleistocene.- *Paleoceanography*, Vol. 3, Nr. 3: 249-258.
- Damuth, J.E. [1978]: Echo character of the Norwegian-Greenland Sea: relationship to Quaternary sedimentation.- *Marine Geology*, 28: 1-36.
- Dean, W.E., J.V. Gardner & E. Hemphill-Haley [1989]: Changes in Redox Conditions in deep-sea sediments of the subarctic North Pacific Ocean: possible evidence for the presence of North Pacific deep water.- *Paleoceanography*, Vol. 4, Nr. 6: 639-653.
- De Lange, G.J. [1986]: Early diagenetic reactions in interbedded pelagic and turbiditic sediments in the Nares Abyssal Plain (western North Atlantic): Consequences for the composition of sediment and interstitial water.- *Geochim. Cosmochim. Acta*, 50: 2543-2561.
- De Lange, G.J. & F.B. Rispen [1986]: Indication of diagenetically induced precipitation of an Fe-Si mineral in sediment from the Nares Abyssal Plain, western North Atlantic.- *Marine Geology*, 73: 85-97.
- Duplessy, J.C., M. Arnold, P. Maurice, E. Bard, J. Duprat & J. Moyes [1986]: Direct dating of the oxygen isotope record of the last deglaciation by ^{14}C accelerator mass spectrometry.- *Nature*, 320: 350-352.
- Duplessy, J.C., Labeyrie, L. & P.L. Blanc [1988]: Norwegian Sea Deep Water variations over the last climatic cycle: Paleo-oceanographical Implications.- In: Wanner, H. & U. Siegenthaler (Hrsg.): Long and short term variability of climate.- Springer, New York, Heidelberg, Berlin: 83-116.
- Einsele, G. [1982]: Mass physical properties of Pliocene to Quaternary sediments in the Gulf of California, Deep Sea Drilling Project Leg 64.- In: Blakeslee, J., L.W. Platt & L.N. Stout (Hrsg.): *Initial Rep. Deep Sea Drill. Proj., Part II, 64.- U.S. Government Printing Office, Washington: 512-529.*
- Einsele, G. & F.W. Werner [1968]: Zusammensetzung, Gefüge und mechanische Eigenschaften rezenter Sedimente vom Nildelta, Roten Meer und Golf von Aden.- *"Meteor" Forschungsergeb., Reihe C*, 1: 21-42.

- Eldholm, O., J. Thiede, E. Taylor et al. [1987]: *Proc., Init. Repts.* (Pt. A), ODP, 104: 783 S..
- Emerson, S. & J.I. Hedges [1988]: Processes controlling the organic carbon content of the ocean sediments.- *Paleoceanography*, Vol. 3, Nr. 5: 621-634.
- Ewing, M., D.B. Ericson & B.C. Heezen [1958]: Sediments and topography of the Gulf of Mexico.- In: Weeks, L.G. (Hrsg.): *Habitat of Oil.- Amer. Assoc. Petrol. Geol.*: 995-1053.
- Gealy, E.L. [1971]: Saturated bulk density, grain density and porosity of sediment cores from the Western Equatorial Pacific.- In: Winterer, E.L. et al. (Hrsg.): *Initial Rep. Deep Sea Drill. Proj.*, 7.- U.S. Government Printing Office, Washington: 1084-1104.
- Gehring, H. [1989]: Beitrag zur paläo-ozeanographischen Entwicklung der südwestlichen Norwegischen See während der letzten 405 000 Jahre.- unveröff. Dipl.-Arbeit, Univ. Kiel: 98 S..
- Gerlach, S.A., J. Thiede, G. Graf & F.W. Werner [1986]: Forschungsschiff Meteor, Reise 2: Berichte der Fahrtleiter.- *Ber. Sonderforschungsbereich 313, Univ. Kiel*, Nr 4: 140 S..
- Gervirtz, J.L. & G.M. Friedman [1966]: Deep-sea carbonate sediments of the Red-Sea and their implications on marine lithification.- *J. Sediment. Petrol.*, 36, 1: 143-151.
- Goldhaber, M.B. & I.R. Kaplan [1974]: The sulfur cycle.- *Contribution*, Nr. 1086, *Inst. Geoph. & Planet. Sci., Univ. of Californien, Los Angeles*: 569-655.
- Goldhaber, M.B., R.C. Aller, J.K. Cochran, J.K. Rosenfeld, C.S. Martens & R.A. Berner [1977]: Sulfate reduction, diffusion, and bioturbation in Long Island Sound sediments: report from the FOAM group.- *Am. J. Sc.*, 227: 193-237.
- Grundmanis, V. & J.W. Murray [1982]: Stoichiometry of decomposing organic matter in aerobic marine sediments.- *Geochim. Cosmochim. Acta*, 46: 1101-1121.
- Hamilton, E.L. [1959]: Thickness and consolidation of deep-sea sediments.- *Bull. Geol. Soc. Am.*, 70: 1399-1424.
- Hamilton, E.L. [1971]: Elastic Properties of Marine Sediments.- *J. Geophys. Res.*, Vol. 76, Nr. 2: 579-601.
- Hamilton, E.L. [1970]: Sound velocity and related properties of marine sediments, north Pacific.- *J. Geophys. Res.*, Vol. 75, Nr C3: 4423-4446.
- Harre, I. & R.R. Wittstock [1986]: An integrated system for the next research vessel generation.- *Marine Technology*, 3: 93- 95.

- Hartmann, M., F.C. Kögler, P. Müller & E. Suess [1973]: Preliminary Results of Geochemical and Soilmechanical Investigations on Pacific Ocean Sediments.- In: Morgenstein, M. (Hrsg.): The Origin and Distribution of Manganese Nodules in the Pacific and Prospects for Exploration: 71-77.
- Heinrich, H. [1986]: A comparison of ship-installed 3.5 kHz Sub Bottom Profiler [SBP] and the new KAE "PARASOUND" illustrated by a mapping of a deep-sea meande.- *Dt. hydrogr. Z.39, H.6. Mitteilungen*: 256-262.
- Henrich, R. [1986]: A calcite dissolution pulse in the Norwegian-Greenland Sea during the last deglaciation.- *Geol. Rdsch.*, 75, 3: 805-827.
- Henrich, R., H. Kassens, E. Vogelsang & J. Thiede [1989]: Sedimentary Facies of Glacial-Interglacial cycles in the Norwegian Sea during the last 350 ka.- *Marine Geology*, 86: 283-319.
- Hinz, K., Kögler, F.C. & Seibold, E. [1969]: Reflexionsseismische Untersuchungen mit einer pneumatischen Schallquelle und einem Sedi-mentecholot in der westlichen Ostsee.- *Meyniana*, 19: 91-102.
- Hirschleber, H., F. Theilen, W. Balzer, B. von Bodungen & J. Thiede [1988]: Forschungsschiff Meteor, Reise 7: Berichte der Fahrtleiter.- *Ber. Sonderforschungsbereich 313, Univ. Kiel, Nr.10*: 358 S..
- Holler, P.R. [1985]: Geotechnical properties of Antarctic deep sea sediments.- *"Meteor" Forschungsergeb., Reihe C*, 39: 23-36.
- Holler, P.R. [1988]: Sedimentäre Rutschmassen in der Tiefsee.- *Berichte - Reports, Geol.-Paläont. Inst., Univ. Kiel, Nr. 23*: 141 S..
- Holler, P.R. & H. Kassens [1989]: Sedimentphysikalische Eigenschaften aus dem Europäischen Nordmeer (Datenreport F.S. Meteor, Reise 7).- *Ber. Sonderforschungsbereich 313, Univ. Kiel, Nr. 15*: 61 S..
- Hurd, D.C. [1983]: Physical and Chemical Properties of Siliceous Sceletons.- In: Aston, S.R. (Hrsg.): Silicon Geochemistry and Biogeochemistry: 187-244.
- Imbrie, J., J.D. Hays, D.G. Martinson, A. McIntyre, A.C. Mix, J.J. Morley, N.G. Pisias, W.L. Prell & N.J. Shackleton [1984]: The orbital theory of Pleistocene climate: support from a revised chronology of the marine $\delta^{18}\text{O}$ record.- In: A.L. Berger et al. (Hrsg.): Milankovitch and Climate, Part I: 269-305.
- Jacobi, D. & D.E. Hayes [1982]: Bathymetry, Microphysio-graphy and Reflectivity characteristics of the West African Margin between Sierra Leone and Mauritania.- In: Rad von, U., K. Hinz, M. Sarnthein & E. Seibold (Hrsg.): Geology of the Northwest African Continental

- Margin.- Springer, New York, Heidelberg, Berlin: 182-214.
- Jahnke, R., S. Emerson & J. Murrey [1982]: A model of oxygen reduction, denitrification, and organic matter mineralization in marine sediments.- *Limnol. Oceanogr.*, 27: 610-623.
- Jansen, E., H.P. Sejrup, T. Fjæran, M. Hald, H. Høltedahl & O. Skarbø [1983]: Late Weichselian paleoceanography of the southeastern Norwegian Sea.- *Norsk Geol. Tidsskrift*, Vol. 63: 117-146.
- Jansen, E. & K.R. Bjørklund [1985]: Surface ocean circulation in the Norwegian Sea 15 000 BP to present.- *Boreas*, 14: 243-257.
- Jansen, E. & H. Erlenkeuser [1985]: Ocean circulation in the Norwegian Sea during the last deglaciation: Isotopic evidence.- *Paleogeogr., Paleoclimatol., Paleoecol.*, 49: 189-206.
- Johannessen, O.M. [1986]: Brief overview of the physical oceanography.- In: Hurdle, B.G. (Hrsg.): *The Nordic Seas*.- Springer, New York, Heidelberg, Berlin: 102-127.
- Johnson, T.C., E.L. Hamilton & W.H. Berger [1977]: Physical properties of calcareous ooze: Control by dissolution at depth.- *Marine Geology*, 24: 259-277.
- Jones, G.A. & L.D. Keigwin [1988]: Evidence from Fram Strait (78°N) for early deglaciation.- *Nature*, 336: 56-59.
- Karpuz, N.K. [1989]: Surface sediment diatom distribution and Holocene paleotemperature variations in the GIN Sea.- *POC- NAVF- Contribution Nr. 5*, Univ. Bergen: 199 S..
- Kassens, H. [1985]: Verteilung von physikalischen Sedimenteigenschaften in oberflächennahen Sedimenten des äquatorialen Ostatlantiks.- unveröff. Dipl.-Arbeit, Geol. Paläont. Inst., Univ. Kiel: 81 S..
- Kassens, H. & M. Sarnthein [1989]: A link between paleoceanography, early diagenetic cementation, and shear strength maxima in Late Quaternary deep-sea sediments?- *Paleoceanography*, Vol. 4, Nr. 3: 253-269.
- Kastner, M. [1981]: Authigenic silicates in deep-sea sediments: formation and diagenesis.- In: Emiliani, C. (Hrsg.): *The Sea*, Vol. 7.- John Wiley, New York: 915-980.
- Keffer, T., D.G. Martinson & B.H. Corliss [1988]: The Position of the Gulf Stream During Quaternary Glaciations.- *Science*, 241: 440-442.
- Kellogg, T.B. [1980]: Paleoclimatology and paleoceanography of the Norwegian and Greenland Seas: Glacial- interglacial contrasts.- *Boreas*, 9: 115-137.
- Kellogg, T.B., J.C. Duplessy & N. Shackleton [1978]: Planktonic foraminiferal and oxygen isotopic stratigraphy and paleoclimatology

- of Norwegian Sea deep-sea cores.- *Boreas*, 7: 61-73.
- Kenter, J.A.M. & W. Schlager [1989]: A Comparison of Shear Strength in Calcareous and Siliciclastic Marine Sediments.- *Marine Geology*, 88: 145-152.
- Koltermann, K.P. [1987]: Die Tiefenwasserzirkulation der Grönland-See als Folge des thermohalinen Systems des Europäischen Nordmeeres.- Dissertation, Univ. Hamburg: 287 S..
- Kögler, F.C. [1967]: Geotechnical properties of recent marine sediments from the Arabian Sea and Baltic Sea.- In: Richards, A.F. (Hrsg.): *Marine Geotechnique*: 170-176, University of Illinois Press, Urbana.
- Kuijpers A. [1982]: Sediment studies in the western Madeira Abyssal Plain.- *Internal Report RGD*, 1982: 41-107.
- Labeyrie, L.D., J.C. Duplessy & P.L. Blanc [1987]: Variations in mode of formation and temperature of oceanic deep water over the past 125.000 years.- *Nature*, 327: 477-482.
- Lange, H. [1982]: Distribution of chlorite and kaolinite in eastern Atlantic sediments off North Africa.- *Sedimentology*, 29: 427-431.
- Leventhal, J.S. [1983]: An interpretation of carbon and sulfur relationships in Black Sea sediments as indicators of environments of deposition: *Geochim. Cosmochim. Acta*, 47: 133-137.
- Lutze, G.F., et al. [1988]: Bericht über die "METEOR"- Fahrt 6-5, Dakar - Libreville, 15.1.-16.2.1988.- *Berichte - Reports, Geol.- Paläont. Inst., Univ. Kiel, Nr. 22*: 60 S..
- Mangerud, J., S.E. Lies, H. Furnes, I.L. Kristiansen & L. Lømo [1984]: Younger Dryas ash bed in Western Norway, with possible correlations to the Norwegian Sea and the North Atlantic.- *Quat. Res.*, 21: 85-104.
- Mangerud, J., H. Furnes & J. Johansen [1986]: A 9000-year-old ash bed on the Faroe Islands.- *Quat. Res.*, 26: 262-265.
- Mackensen, A. [1985]: Verbreitung und Umwelt benthischer Foraminiferen in der Norwegischen See.- unveröff. Dissertation, Univ. Kiel: 135 S.
- Marine Geotechnical Consortium [1985]: Geotechnical properties of Northwest Pacific pelagic clays: Deep-Sea Drilling Project Leg 86, Hole 576A.- In: Heath, G.R. & L.H. Burckle et al. (Hrsg.): *Initial Rep. Deep Sea Drill. Proj.*, 86.- U.S. Government Printing Office, Washington: 723-758.
- Martinson, D.G., N.G. Pisias, J.D. Hays, J. Imbrie, T.C. Moore & N.J. Shackleton [1987]: Age dating and the orbital theory of the Ice Ages: Development of a high-resolution 0 to 300.000-Years Chrono-

- stratigraphy.- *Quat. Res.*, 27: 1-29.
- Mayer, L.A. [1979]: Deep sea carbonates: Acoustic, physical, and stratigraphic properties.- *J. Sediment. Petrol.*, 49: 819-836.
- McGeary, D.F.R. & J.E. Damuth [1973]: Postglacial iron-rich crusts in hemipelagic deep-sea sediments.- *Geol. Soc. Am. Bull.*, 84: 1201-1212.
- McIntyre, A., W.F. Ruddiman & R. Jantzen [1972]: Southward penetration of the North Atlantic Polar Front: faunal and floral evidence of large-scale surface water movements over the last 225.000 years.- *Deep-Sea Res.*, 19: 61-77.
- Mienert, J. [1985]: Akustostratigraphische Untersuchungen zur Klärung der Bodenwasserzirkulation im äquatorialen Ostatlantik.- Dissertation, Univ. Kiel: 186 S..
- Mienert, J. [1986]: Akustostratigraphie im äquatorialen Ost-atlantik: Zur Entwicklung der Tiefenwasserzirkulation der letzten 3.5 Mio. J..- *"Meteor" Forschungsergeb., Reihe C.*, 40: 19-86.
- Morse, J.W. & K.C. Emeis [in press]: Controls on C/S ratios in hemipelagic sediments.- *submitted Am. J. Sci.*
- Müller, P.J. & E. Suess [1979]: Productivity, sedimentation rate and sedimentary organic matter in the oceans, I. Organic carbon preservation.- *Deep-Sea Res.*, 26A: 1347-1362.
- Nafe, J.E. & C.L. Drake [1963]: Physical properties of marine sediments.- In: Hill, M.N. (Hrsg.): *The Earth beneath the Sea*, Vol. 3; *The Sea, Ideas and Observations on Progress in the study of the Seas*.- Interscience Publishers, New York, London: 794-815.
- Neben, S. [1988]: Durchschallung von Kastenloten- Entwicklung der Apparatur und erste Meßergebnisse.- unveröff. Dipl.-Arbeit, Geophys. Inst., Univ. Kiel: 123 S..
- Olausson, E. [1961]: Studies of deep-sea cores.- *Rep. Swed. Deep-Sea Exped. 1947-1948*, 8: 337-391.
- Phillipp, J. [1989]: Bestimmung der Kompressions- und Scherwellengeschwindigkeit mariner Sedimente an Kastenlotkernen: Entwicklung einer Meßapparatur und Vergleich mit sedimentologischen Parametern.- Dissertation, Univ. Kiel: 95 S..
- Pedersen, J. [1987]: Oseanografiske forandringer i Norske-Grønlandshavet ved overgangen Pleistocen/Holocen belyst ved diatomeanalytiske metoder.- unveröff. Dipl.-Arbeit, Univ. Oslo: 126 S..
- Pedersen, J., B. Stabell & K. R. Bjørklund [1988]: Sediment cores from the Norway Basin and the Jan Mayen Ridge: Preliminary Litho- and Biostratigraphy.- *Inst. Geol. Oslo, Intern Skr. ser., Nr. 53*: 1-18.

- Prell, W.L., J. Imbrie, D.G. Martinson, J.J. Morley, N.G. Pisias, N.J. Shackleton & H.F. Streeter [1986]: Graphic correlation of oxygen isotope stratigraphy: Application to the late Quaternary.- *Paleoceanography*, Vol. 1, Nr. : 137-162.
- Richards, A.F. [1962]: Investigations of deep-sea sediment cores, II: mass physical properties.- *Tech. Rep. 106, U.S. Navy Hydrogr. Office, Washington D.C.*: 145 S..
- Richards, A.F. & E.L. Hamilton [1967]: Investigations of deep-sea sediment cores, III: consolidation.- In: Richards, A.F. (Hrsg.): *Marine Geotechnique*.- Univ. of Illinois Press, Urbana: 93-117.
- Richardson, D.S. [1974]: The origin of iron-rich layers in sediments of the western equatorial Atlantic Ocean.- Ph.D. thesis, Columbia Univ., New York: 250 S..
- Rosenquist, I.T. [1953]: Considerations on the sensitivity of Norwegian quick-clays.- *Géotechnique*, Vol. 3: 195-200.
- Roth, P.H. & W.H. Berger [1975]: Comparison of dissolution pattern in coccoliths and foraminifera.- *Spec. Publ. Cushman Found. Foraminiferal Res.*, 13: 87-113.
- Ruddiman, W.F. & A. McIntyre [1981]: The North Atlantic Ocean during the last deglaciation.- *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.*, 35: 145-214.
- Rump-Schenk, B. [1988]: Diatomeenuntersuchungen an quartären Sedimenten des europäischen Nordmeeres.- unveröff. Dipl.-Arbeit, Geol. Paläont. Inst, Univ. Kiel: 79 S..
- Sakshaug, E. & O. Holm-Hansen [1984]: Factors governing pelagic production in polar oceans.- In: Holm-Hansen, O., L. Bolis & R. Gilles (Hrsg.): *Marine phytoplankton and productivity, Lecture notes on coastal and estuarine studies*, 8.- Springer, New York, Heidelberg, Berlin: 1-18.
- Sarnthein, M., F.C. Kögler & F. Werner [1983]: Forschungsschiff Meteor, Reise Nr. 65, Berichte der wissenschaftlichen Leiter.- *Berichte - Reports, Geol.-Paläont. Inst., Univ. Kiel*, Nr. 2: 90 S..
- Sarnthein, M., K. Winn & R. Zahn [1987]: Paleoproductivity of oceanic upwelling and the effect on atmospheric CO₂ and climatic change during deglaciation times.- In: Berger, W.H. & L.D. Labeyrie (Hrsg.): *Abrupt Climatic Change*.- D. Reidel, Hingham, Mass.: 311-337.
- Sarnthein, M. & K. Winn [1988]: Global Variations of Surface Ocean Productivity in Low and Mid Latitudes: Influence on CO₂ Reservoirs of the Deep Ocean and Atmosphere during the last 21.000 Years.-

- Paleoceanography*, Vol. 3, Nr.3: 361-399.
- Sarnthein, M., et al. [1989]: Bericht zur METEOR-Reise 11-1 Hamburg-Ponta Delgada, Azoren 3.-23. Oktober 1989.- *Berichte - Reports, Geol.- Paläont. Inst., Univ. Kiel*, Nr. 36: 69 S..
- Schlanger, S.O. & R.G. Douglas [1974]: The pelagic ooze-chalk-limestone transition and its implications for marine stratigraphy.- In: Hsu, H.J. & H.C. Jenkyns (Hrsg.): *Pelagic Sediments: on Land and under the Sea*.- Blackwell Scientific Publications, Oxford, London, Edinburgh, Melbourne: 117-148.
- Schrader, H.J. [1972]: Kieselsäure-Skelette in Sedimenten des ibero-marokkanischen Kontinentalrandes und angrenzender Tiefsee-Ebenen.- *"Meteor" Forschungsergeb., Reihe C*, 8: 10-36.
- Schrader, H.J. & G. Schütte [1981]: Marine diatoms.- In: Emiliani, C. (Hrsg.): *The Sea*, Vol. 7; *The Oceanic Lithosphere*, John Wiley, New York: 1179-1232.
- Schultheiss, P.J. [1985]: Physical and geotechnical properties of sediments from the Northwest Pacific.- In: Heath, G.R., H.L. Burckle, et al. (Hrsg.): *Initial Rep. Deep Sea Drill. Proj.*, 86.- *U.S. Government Printing Office, Washington*: 701-722.
- Sejrup, H.P., E. Jansen, H. Erlenkeuser & H. Høltedahl [1984]: New Faunal and Isotopic Evidence on the Late Weichselian- Holocene Oceanographic Changes in the Norwegian Sea.- *Quat. Res.*, 21: 74-84.
- Shepard, L.E., W.R. Bryant & W.A. Dunlap [1978]: Consolidation characteristics and excess porewater pressure of Mississippi Delta sediments.- *Offshore Technology Conference*: 1037-1042.
- Shepard, L.E., A.K. Rutledge, W.R. Bryant & K.M. Moran [1987]: Geotechnical characteristics of fine-grained turbidite sequences from the Nares Abyssal Plain.- In: Weaver, P.P.E. & J. Thomson (Hrsg.): *Geology and Geochemistry of Abyssal Plains*.- *Geol. Soc. Special Publ.*, Nr. 31: 131-146.
- Sjøholm, J. [1987]: Kvartære askesoner og sedimenter på Island-splatået.- unveröff. Dissertation, Univ. Bergen: 74 S., Bergen.
- Skempton, A.W. [1970]: The Consolidation of Clays by Gravitational Compaction.- *J. Geol. Soc. London*, 125: 373-411.
- Smethie, W.M., H.G. Ostlund & H.H. Loosli [1986]: Ventilation of the deep Greenland and Norwegian seas: evidence from krypton-85, tritium, carbon-14 and argon-39.- *Deep-Sea Res.*, 33, 5: 675-703.
- Stabell, B. [1986]: A diatom maximum horizon in upper quaternary deposits.- *Geol. Rdsch.*, 75, 1: 175-184.
- Stabell, B. [1987]: The diatom flora in the Fram strait. A comparison

- with the Pleistocene/Holocene boundary flora in the Norwegian Sea.- *Polar Research*, 5: 321-322.
- Stackelberg von, U., H. Beiersdorf & V. Riech [1987]: Relationship between Manganese Nodule Formation and Sedimentary Processes in the Equatorial North Pacific Ocean.- A Synthesis Based on the Results of Cruise SO 25 (1982) with RV Sonne.- *Geol. Jahrb.*, D87: 377-403.
- Stein, R. [1984]: Zur neogenen Klimaentwicklung in Nordwest-Afrika und Paläo- Ozeanographie im Nordost-Atlantik: Ergebnisse von DSDP-Sites 141, 366, 397 und 544B.- *Berichte - Reports, Geol.-Paläont. Inst. Univ. Kiel*, Nr. 4: 1-210.
- Swift, J.H. & K. Aagaard [1981]: Seasonal transitions and water mass formation in the Iceland and Greenland seas. - *Deep-sea Res.*, 28A: 1107-1129.
- Swift, J.H. [1986]: The Arctic Waters.- In: Hurdle, B.G. (Hrsg.): The Nordic Seas.- Springer, New York, Heidelberg, Berlin: 129-151.
- Swift, J.H. & K.P. Koltermann [1988]: The origin of Norwegian Sea Deep Water.- *J. Geophys. Res.*, Vol.93: 3563-3569.
- Telford, W.M., L.P. Oeldart, R.E. Sheriff & D.A. Keys [1976]: Applied Geophysics.- Cambridge Univ. Press, London, New York, Melbourne: 860 S..
- Thiede, J., Suess, E. & P.J. Müller [1982]: Late Quaternary Fluxes of Major Sediment Components to the Sea Floor at the Northwest African Continental Slope.- In: Rad von, U. et al. (Hrsg.): Geology of the Northwest African Continental Margin.- Springer, New York, Heidelberg, Berlin: 545-604.
- Thomson, J. [in prep.]: Sedimentary facies of glacial/ interglacial cycles in the Norwegian Sea during the last 350 ka - Comment.- *Marine Geology*.
- Thomson, J., T.R.S. Wilson, F. Culkin & D.J. Hydes [1984]: Non-steady state diagenetic record in eastern equatorial Atlantic.- *Earth Planet. Sci. Lett.*, 71: 23-30.
- Tovey, N.K. & Wong, K.Y. [1978]: Preparation, selection and interpretation problems in scanning electron microscope studies of sediments.- In: Whalley W.B. (Hrsg.): Scanning Electron Microscope in the study of sediments.- Geo Abstracts, Norwich, England: 181-200.
- Trask, P.D. [1953]: The sediments of the Western Gulf of Mexico - Part II. Chemical studies of sediments of the Western Gulf of Mexico.- *Pap. Phys. Oceanogr. Met.*, 12: 45-120.
- Vogelsang, E. [1990]: Paläo-Ozeanographie des Europäischen Nordmeeres an Hand stabiler Kohlenstoff- und Sauerstoffisotope.- Dissertation,

- Univ. Kiel: S., Kiel.
- Wallace, H.E., J. Thomson, T.R.S. Wilson, P.P.E. Weaver, N.C. Higgs & D.J. Hydes [1988]: Active diagenetic formation of metal-rich layers in NE Atlantic sediments.- *Geochim. Cosmochim. Acta*, 52: 1557-1569.
- Watson, J.A. & E.F. Angino [1969]: Iron-rich layers in sediments from the Gulf of Mexico.- *J. Sediment. Petrol.*, 39: 1412-1419.
- Wilson, T.R.S., J. Thomson, D.J. Hydes, S. Colley, F. Culkin & J. Sørensen [1986]: Oxidation fronts in pelagic sediments: diagenetic formation of metal-rich layers.- *Science*, 232: 972-975.
- Wohlfeil, K. [1982]: Verbreitung Herkunft und Bedeutung der Psephite des Seegebietes zwischen den Færøer und Island.- "Meteor" *Forschungsergeb.*, Reihe C, 36: 31-56.
- Wohlfeil, K. [1983]: Verteilung und Herkunft der Sedimente in Lotkernen von der Island-Færøer-Schwelle (Nordatlantik).- *Geol. Rdsch.*, 72, 1: 137-165.



Tab. A.1: Sedimentphysikalische und sedimentologische Ergebnisse

Teufe (cm)	Alter ¹⁾ (*10 ³ J)	Scherfestigkeit				nat. Wasser- geh. (%)	Feucht- raum- gew. (g/cm ³)	Sedim.- auf- last (kPa)	Trocken- raum- gew. (g/cm ³)	Akku- rate g cm ² *10 ³ J	spez. Poren- Gew. ziffer (g/cm ³)	Poro- sität (%)	Fließ- grenze (%H ₂ O)	Roll- grenze (%H ₂ O)	Plasti- zitäts- index	Sensi- tät	Sand (Gew.%)	Silt (Gew.%)	Ton (Gew.%)	CaCO ₃ (Gew.%)	C _{org} (Gew.%)	S (Gew.%)		
		min.	max.	0	hom.																			
23055-2/3, GKG/KAL-Sedimentprofil																								
2.0	3.3	0.6	0.9	0.8	0.2	137.0	1.25	0.05	16.00	0.53	0.70	2.58	4.00	80.0	88.66	41.08	47.58	4.44	27.9	51.5	20.6	50.1	0.58	0.27
4.5	5.2	2.9	3.1	3.0	0.3	108.9	1.29	0.12	25.00	0.61	0.82	2.61	3.35	77.0				9.38	25.0	55.8	19.2	45.6	0.44	
7.0	7.1	3.5	3.6	3.6	0.4	112.1	1.38	0.21	17.14	0.65	0.87	2.62	3.13	75.8				9.47	19.6	59.8	20.6	34.2	0.45	0.24
9.5	8.7	2.9	3.5	3.2	0.3	101.2	1.34	0.29	10.90	0.67	4.00	2.72	3.19	76.1				9.29	18.0	55.0	27.0	30.7	0.43	0.18
12.0	9.1	3.3	3.3	3.3	0.4	103.6	1.30	0.36	9.06	0.64	3.84	2.62	3.20	76.2				9.31	21.6	55.0	23.4	26.1	0.38	0.18
15.0	9.6	1.7	2.0	1.9	0.3	92.1	1.31	0.46	4.13	0.68	4.09	2.66	3.00	75.0				6.13	18.1	45.7	36.2	16.3	0.36	0.07
17.5	10.0	2.2	2.9	2.7	0.4	80.7	1.36	0.55	4.82	0.75	4.51	2.65	2.62	72.4				6.79	21.1	45.7	33.2	18.2	0.38	0.08
20.0	11.1	1.4	2.5	1.9	0.4	66.6	1.42	0.65	2.88	0.85	1.71	2.63	2.16	68.4				4.68	25.8	44.8	29.4	23.8	0.21	0.06
22.5	12.3	1.5	2.0	1.8	0.5	63.8	1.57	0.79	2.27	0.96	1.92	2.66	1.85	64.9				3.44	19.9	43.7	36.4	21.7	0.25	0.06
25.0	13.6	2.5	3.5	2.6	0.5	78.4	1.34	0.88	2.99	0.75	5.80	2.66	2.62	72.3				5.06	19.0	37.1	44.0	12.0	0.30	0.06
29.0	14.1	3.1	6.9	5.1	1.0	51.0	1.50	1.07	4.72	1.00	7.66	2.67	1.75	63.6	51.44	20.46	30.98	5.32	18.4	42.4	39.2	10.0	0.35	0.04
31.5	14.4	2.0	2.9	2.5	0.8	52.9	1.48	1.19	2.06	0.97	7.44	2.66	1.82	64.5				3.10	16.7	41.9	41.4	11.7	0.22	0.05
34.0	14.7	1.8	2.8	2.3	0.7	53.8	1.65	1.35	1.70	1.08	8.27	2.67	1.54	60.7				3.19	16.7	46.7	36.6	12.3	0.20	0.03
36.5	15.2	1.4	1.8	1.6	0.7	67.9	1.46	1.47	1.11	0.87	3.88	2.65	2.12	68.0				2.23	20.2	28.2	51.6	14.0	0.23	0.05
39.5	15.9	1.6	1.6	1.6	0.6	58.2	1.52	1.62	1.01	0.96	4.29	2.69	1.87	65.1				2.63	19.6	23.8	56.6	13.0	0.23	0.04
51.0*	18.5	1.6	1.6	1.6	0.6	69.7	1.60	3.47	0.47	0.94	4.21	2.66	1.89	65.4	56.14	25.95	30.19	2.91	13.1	45.5	41.4			
61.0*	20.7	1.6	1.6	1.6	0.7	69.6	1.68	4.14	0.39	0.99	4.42	2.66	1.75	63.7				2.23	3.7	39.9	56.4			
64.0*	21.4	1.6	1.8	1.7	0.7	54.3	1.30	4.23	0.41	0.84	3.76	2.65	2.22	69.0				2.52	4.0	37.1	59.0	12.7	0.21	0.05
75.0*	23.9	2.9	3.8	3.3	0.7	56.6	1.58	4.86	0.67	1.01	4.51	2.68	1.72	63.2				4.87	9.8	46.2	44.0	12.8	0.19	0.05
78.0*	24.5	2.6	2.6	2.6	0.7	57.3	1.44	4.99	0.51	0.92	4.09	2.65	1.97	66.3				3.59	6.6	46.0	47.4	12.6	0.21	0.05
89.0*	27.0	1.9	2.5	2.1	0.6	69.4	1.49	5.52	0.38	0.88	3.13	2.65	2.08	67.5	59.89	27.99	31.90	3.58	7.6	45.4	47.0	13.7	0.21	0.06
91.0*	27.6	2.0	2.2	2.1	0.7	68.2	1.50	5.62	0.37	0.89	3.16	2.66	2.06	67.3				2.97	4.1	31.9	64.0	11.3	0.16	0.06
102.0*	30.7	2.7	3.0	2.8	1.1	67.1	1.57	6.24	0.45	0.94	3.34	2.66	1.89	65.5				2.58	9.9	6.5	83.6	10.5	0.34	0.06
105.0*	31.5	2.9	3.0	2.9	0.7	72.5	1.51	6.39	0.46	0.88	3.11	2.64	2.09	67.7				4.04	9.7	43.7	46.6	12.3	0.28	0.06
116.0*	34.6	4.0	4.0	4.0	0.6	53.3	1.65	7.09	0.56	1.08	3.83	2.66	1.53	60.5	47.49	17.67	29.82	6.22	27.5	42.1	30.4	15.7	0.14	0.05
118.0*	35.2	1.9	3.8	2.7	0.6	56.1	1.68	7.22	0.38	1.08	3.82	2.67	1.55	60.7				4.63	34.2	41.4	24.4	14.7	0.14	0.04
129.0*	38.3	3.8	3.9	3.8	0.7	40.6	1.63	7.90	0.48	1.16	4.11	2.67	1.36	57.7				5.23	43.8	33.3	23.0	18.9	0.17	0.05
131.0*	38.8	4.0	4.2	4.1	0.7	44.6	1.67	8.03	0.51	1.15	4.10	2.66	1.36	57.7				5.59				13.8	0.16	0.04
142.0*	41.9	4.0	4.1	4.0	0.8	53.7	1.61	8.69	0.46	1.05	3.71	2.63	1.58	61.2	49.60	23.92	25.68	5.23	29.2	46.0	24.8	12.6	0.37	0.05
144.0*	42.5	4.0	4.4	4.2	1.0	55.5	1.62	8.81	0.47	1.04	3.70	2.64	1.59	61.5				4.31	24.6	45.0	30.4	11.1	0.26	0.05
155.0*	45.6	4.0	4.1	4.0	1.2	71.6	1.51	9.36	0.43	0.88	3.12	2.69	2.13	68.1				3.28	6.6	70.4	23.0	2.1	0.27	0.07
158.0*	46.4	8.7	9.4	9.0	2.3	33.6	1.78	9.60	0.94	1.34	4.74	2.63	1.02	50.4	42.04	19.06	22.98	4.01	18.8	53.6	27.6	0.5	0.47	0.05
163.0*	47.8	11.0	11.5	11.3	2.1	38.9	1.71	9.94	1.13	1.23	4.37	2.65	1.21	54.7				5.39	19.6	38.6	41.8	1.0	0.48	0.05
168.0*	49.2	11.1	16.1	13.4	2.0	38.8	1.79	10.24	1.30	1.16	4.13	2.64	1.33	57.0				6.54	19.4	42.0	38.6	0.9	0.60	0.05
172.0*	50.4	17.4	18.7	18.1	3.2	34.6	1.73	10.53	1.72	1.29	4.57	2.64	1.10	52.4	46.62	19.87	26.75	5.72	19.4	60.2	20.4	0.7	0.73	0.06
182.0*	53.2	8.5	9.1	8.8	4.3	32.0	1.88	11.39	0.77	1.42	5.04	2.66	0.92	47.9	37.22	18.06	19.16	2.03	16.6	48.6	34.8	2.0	1.26	0.39
186.0*	54.3	2.1	3.3	2.7	0.8	73.7	1.52	11.60	0.23	0.88	3.11	2.66	2.11	67.9	57.93	23.89	34.04	3.45	12.9			9.7	0.42	0.08
194.5*	61.7	3.5	3.8	3.6		70.6	1.56	12.06	0.30	0.92	0.66											18.9	0.31	0.07
197.0*	65.2	4.0	4.6	4.3	1.1	65.0	1.60	12.21	0.35	0.97	1.63	2.68	1.84	64.8				3.94	10.3	24.1	65.6	15.4	0.26	0.05
208.0*	71.7	4.2	4.5	4.4	0.9	63.3	1.54	12.79	0.34	0.95	1.60	2.72	1.95	66.1				4.83	30.1	39.9	30.0	30.9	0.20	0.04
210.0*	72.9	3.6	5.7	4.9	0.6	49.8	1.63	12.92	0.38	1.09	1.84	2.69	1.53	60.5				7.85	32.9	39.1	28.0	31.2	0.15	0.04
218.5*	78.0	10.6	15.5	12.6	1.3	42.2	1.65	13.46	0.94	1.16	1.96	2.65	1.34	57.3				9.65	48.0	19.2	32.8	45.3	0.16	0.05
223.0*	83.1	3.7	6.1	5.2		66.1	1.60	13.72	0.38	0.96	0.52	2.67	1.84	64.8	50.80	24.00	26.80		30.2	37.4	32.4	22.9	0.20	0.05
229.5*	91.9	4.6	5.3	4.9	0.9	80.0	1.56	14.07	0.35	0.86	1.53	2.66	2.16	68.3				5.42	30.1	46.9	23.0	28.3	0.30	0.06
233.5*	94.2	4.2	4.7	4.4	0.8	53.2	1.59	14.30	0.40	1.04	1.84	2.66	1.62	61.9				7.58	38.7	41.1	20.2	22.8	0.18	0.05

¹⁾: Altersangaben nach Vogelsang [1990]; *: korrigierte Teufe

Tab. A.1: Sedimentphysikalische und sedimentologische Ergebnisse

Teufe (cm)	Alter ¹⁾ ($\cdot 10^3$ J)	Scherfestigkeit				nat. Wasser- geh. (%)	Feucht- raum- gew. (g/cm ³)	Sedim.- auf- last (kPa)	Trocken- raum- gew. (g/cm ³)	Akku- rate g cm ² $\cdot 10^3$ J	spez. Poren- Gew. ziffer (g/cm ³)	Porosi- tät (%)	Fließ- grenze (%H ₂ O)	Roll- grenze (%H ₂ O)	Plasti- zitäts- index	Sensi- tät	Sand (Gew. %)	Silt (Gew. %)	Ton (Gew. %)	CaCO ₃ (Gew. %)	C _{org} (Gew. %)	S (Gew. %)		
		min.	max.	0	hom.																			
23055-2/3, GKG/KAL-Sedimentprofil (Fortsetzung)																								
236.0*	95.6	5.5	6.0	5.8	1.2	37.9	1.76	14.49	0.40	1.27	2.25	2.66	1.14	53.3			4.80	31.9	31.7	36.4	20.2	0.11	0.04	
242.5*	99.3	3.2	5.6	4.6	0.6	74.0	1.51	14.82	0.31	0.87	1.53	2.66	2.14	68.2			7.33	36.6	40.6	22.8	44.5	0.20	0.07	
247.5*	102.1	4.9	6.2	5.6	0.6	108.9	1.38	15.00	0.37	0.66	1.17	2.62	3.06	75.4	82.32	36.38	45.94	9.27	35.4	43.0	21.6	34.2	0.25	0.12
252.5*	109.6	6.0	8.5	7.1	0.8	66.5	1.56	15.28	0.47	0.94	0.38	2.68	1.93	65.8			8.81	35.4	27.0	37.6	40.8	0.14	0.07	
260.0*	114.9	6.3	8.5	7.1	0.8	81.4	1.48	15.63	0.46	0.81	1.37	2.67	2.37	70.3			9.26	42.7	37.5	19.8	56.5	0.16	0.10	
262.0*	116.1	7.3	8.1	7.7	1.1	85.2	1.52	15.73	0.49	0.82	1.38	2.66	2.32	69.9			6.81	37.0	29.0	34.0	52.5	0.15	0.09	
270.5*	121.2	5.4	5.7	5.6	0.7	82.8	1.48	16.13	0.34	0.81	1.36	2.68	2.40	70.6			8.42	23.8	50.8	25.4	12.7	0.14	0.08	
275.0*	122.9	4.3	4.4	4.3	1.1	61.8	1.59	16.39	0.26	0.98	4.67	2.68	1.80	64.3			3.94	15.9	43.5	40.6	7.8	0.12	0.06	
284.5*	124.9	4.7	5.4	5.1	1.1	57.9	1.58	16.93	0.30	1.00	4.76	2.67	1.74	63.5	51.20	20.56	30.64	4.55	16.2	51.2	32.6	11.5	0.15	0.06
289.0*	126.0	3.8	4.3	4.0	1.2	48.5	1.53	17.19	0.23	1.03	3.96	2.65	1.63	62.0			3.33	11.2	19.1	69.8	13.4	0.15	0.05	
294.0*	127.3	5.1	10.6	8.8	1.8	48.8	1.58	17.48	0.50	1.06	4.07	2.66	1.57	61.2			4.97	11.9	45.9	42.2	8.2	0.24	0.05	
297.5*	128.2	5.3	5.3	5.3	1.5	48.2	1.68	17.71	0.30	1.13	4.35	2.67	1.41	58.6			3.44	15.5	49.7	34.8	14.7	0.11	0.03	
307.5*	130.9	15.8	16.1	16.0	2.3	38.5	1.74	18.44	0.87	1.26	4.82	2.65	1.16	53.8	50.36	21.05	29.31	7.11	9.3	49.9	40.8	1.8	0.46	0.04
312.5*	132.2	5.6	6.1	5.9	1.3	66.5	1.59	18.73	0.31	0.95	3.66	2.68	1.88	65.3	62.93	25.20	37.73	4.59	5.5	49.5	45.0	12.0	0.17	0.06
319.0*	133.0	15.7	17.3	16.5	3.4	32.6	1.81	19.24	0.86	1.37	25.63	2.60	0.95	48.8			4.83	24.6	57.0	18.4	2.4	0.25	0.04	
324.5*	133.3	13.8	14.2	14.0	5.0	36.7	1.62	19.58	0.72	1.18	22.24	2.67	1.31	56.7			2.83	28.9	47.7	23.4	0.4	0.52	0.05	
331.0*	133.7	23.8	38.5	33.6	12.6	33.8	1.97	20.19	1.66	1.47	27.66	2.66	0.85	46.0	45.08	15.05	30.03	2.67	23.1	59.9	17.0	0.8	0.76	0.04
334.5*	133.8	9.2	10.0	9.6	4.0	28.3	1.85	20.49	0.47	1.44	27.02	2.59	0.84	45.8	31.88	16.56	15.32	2.41	27.5	41.1	31.4	1.7	1.05	0.23
342.0*	134.2	10.4	10.4	10.4	4.5	25.9	1.90	21.15	0.49	1.51	28.36	2.57	0.74	42.7	32.48	14.65	17.83	2.32	28.0	45.0	27.0	2.6	1.02	0.23
348.0*	134.6	5.5	5.7	5.6	1.2	56.5	1.63	21.52	0.26	1.04	19.51	2.66	1.62	61.9	47.63	22.95	24.68	4.56	17.3	47.6	35.2	16.3	0.26	0.07
357.5*	135.1	6.3	6.7	6.5	1.5	66.1	1.55	22.03	0.30	0.93	1.50	2.65	1.91	65.6			4.32	5.9	41.5	52.6	13.7	0.33	0.07	
363.5*	138.5	11.8	13.2	12.5	4.6	41.1						2.64					2.69	13.3	34.2	52.6	13.9	0.16	0.05	
368.0*	141.3	14.2	16.7	15.1	4.3	41.7	1.79	22.84	0.66	1.27	0.65	2.62	1.12	52.9	50.48	19.45	31.03	3.53	15.5	58.1	26.4	1.9	0.81	0.06
375.5*	156.1	5.7	6.0	5.9	1.1	68.1	1.57	23.26	0.25	0.93	0.48	2.63	1.88	65.3			5.29	11.0	39.0	50.0	17.2	0.34	0.08	
379.5*	157.8	5.7	5.9	5.8	1.4	54.8	1.63	23.51	0.25	1.05	5.46	2.59	1.52	60.4	52.74	22.69	30.05	4.03	8.1	59.7	32.2	12.4	0.35	0.06
386.0*	159.0	12.2	12.3	12.3	3.7	40.2	1.77	24.00	0.51	1.26	6.56	2.63	1.13	53.1	50.36	21.86	28.50	3.35	9.5	59.7	30.8	2.4	0.58	0.06
393.0*	160.4	6.1	6.1	6.1	1.3	53.3	1.64	24.44	0.25	1.07	5.56	2.67	1.55	60.8	52.90	23.17	29.73	4.86	16.7	48.9	34.4	13.5	0.23	0.06
398.0*	161.3	6.7	10.0	8.3														4.98	8.2	53.6	38.2			0.06
401.5*	162.0	6.1	6.1	6.1	1.2	50.0	1.51	24.87	0.25	1.01	5.24	2.63	1.67	62.6			3.18	12.3	55.1	32.6	8.7	0.26	0.05	
408.0*	163.3	4.9	5.9	5.4	1.7	56.1	1.68	25.30	0.21	1.08	5.58	2.62	1.50	60.0			3.18	12.3	55.1	32.6	8.7	0.26	0.05	
416.5*	164.9	8.8	16.9	13.2	2.2	32.1	1.88	26.03	0.51	1.42	7.37	2.66	0.92	47.9			5.89	29.1	44.3	26.6	0.2	0.43	0.04	
422.5*	166.1	8.3	12.3	10.6	3.5	43.3	1.76	26.48	0.40	1.23	6.39	2.62	1.18	54.2			3.02	15.5	37.9	46.6	12.6	0.19	0.04	
429.0*	167.3	13.2	14.2	13.7	3.6	44.5	1.67	26.91	1.02	1.15	5.98	2.68	1.38	58.0	51.44	19.05	32.39	7.55	15.6	61.0	23.4	3.3	0.34	0.05
437.5*	169.0	16.4	16.7	16.6		42.5	1.69	27.48	0.60	1.19	6.15													
443.5*	170.1	18.4	20.4	19.7	3.5	36.9	1.75	27.92	0.71	1.28	6.63	2.63	1.11	52.6			5.68	23.2	42.8	34.0	5.5	0.45	0.05	
449.5*	171.3	8.9	12.8	10.6	3.5	33.1	1.87	28.44	0.37	1.41	1.86	2.66	0.94	48.4			3.00	24.3	50.9	24.8	5.7	0.57	0.17	
454.5*	174.8	4.9	5.5	5.2	1.2	61.2	1.56	28.71	0.18	0.97	1.28	2.61	1.76	63.8			4.30	6.3	47.7	46.0	11.3	0.43	0.08	
461.0*	179.7	6.2	6.3	6.3	1.7	45.4	1.73	29.18	0.21	1.19	28.07	2.65	1.29	56.3			3.80	17.7	39.9	42.4	14.3	0.26	0.06	
464.0*	179.8	6.3	6.8	6.6	1.4	50.5	1.67	29.37	0.22	1.11	26.16						4.67	10.6	54.7	34.8	11.3	0.24	0.05	
474.0*	180.3	7.0	7.8	7.4	1.4	53.1	1.60	29.96	0.25	1.04	24.65	2.62	1.57	61.2			5.17	10.1	49.5	40.4	12.1	0.28	0.06	
482.5*	180.6	7.8	8.1	7.9	1.3	50.4	1.66	30.51	0.26	1.10	26.04	2.71	1.52	60.3			6.17	9.0	48.2	42.8	15.2	0.21	0.05	
489.5*	180.9	6.4	7.4	6.9	1.3	59.8	1.59	30.92	0.22	1.00	23.56	2.63	1.70	63.0			5.41	15.2	32.6	52.2	14.4	0.26	0.07	
496.0*	181.2	3.8	3.8	3.8	1.1	59.3	1.71	31.37	0.12	1.07	25.28	2.66	1.55	60.8	54.77	25.88	28.89	3.34	7.3	51.3	41.4	14.1	0.20	0.07
500.5*	181.4	4.0	4.0	4.0	1.1	55.2	1.78	31.71	0.13	1.15	27.15	2.64	1.36	57.5			3.55	16.2	35.8	48.0	19.1	0.18	0.06	
507.0*	181.7	4.3	4.6	4.4	1.1	62.7	1.66	32.13	0.14	1.02	24.06	2.64	1.66	62.4			3.89	19.6	41.2	39.2	20.3	0.21	0.06	

1): Altersangaben nach Vogelsang [1990]; *: korrigierte Teufe

Tab. A.1: Sedimentphysikalische und sedimentologische Ergebnisse

Teufe (cm)	Alter ¹⁾ (*10 ³ J)	Scherfestigkeit				nat. Wasser- geh. (%)	Feucht- raum- gew. (g/cm ³)	Sedim.- auf- last (kPa)	Trocken- raum- gew. (g/cm ³)	Akku- rate g cm ² *10 ³ J	spez. Poren- Gew. ziffer (g/cm ³)	Poro- sität (%)	Fließ- grenze (%H ₂ O)	Roll- grenze (%H ₂ O)	Plasti- zitäts- index	Sensi- tät	Sand (Gew.%)	Silt (Gew.%)	Ton (Gew.%)	CaCO ₃ (Gew.%)	C _{org} (Gew.%)	S (Gew.%)		
		min.	max.	0	hom.																			
23055-2/3, GKG/KAL-Sedimentprofil (Fortsetzung)																								
516.0*	182.1	16.1	17.3	16.7	1.3	63.2	1.61	32.60	0.51	0.94	22.19	2.63	1.87	65.2	58.39	24.99	33.40	13.06	5.9	53.9	40.2	9.0	0.22	0.07
523.0*	182.3	9.7	10.1	9.9	2.7	43.4	1.77	33.06	0.30	1.23	29.18	2.67	1.22	54.9	46.92	21.35	25.57	3.66	13.2	53.8	33.0	2.4	0.47	0.05
532.0*	182.7	4.3	4.7	4.5	1.0	62.8	1.52	33.52	0.13	0.94	22.12	2.66	1.91	65.7				4.40	8.6	43.4	48.0	7.3	0.26	0.07
541.0*	183.1	6.4	6.8	6.6		41.9	1.80	34.22	0.19	1.27	29.92	2.66	1.15	53.6	48.38	21.96	26.42		13.6	53.0	33.4	0.7	0.61	0.06
546.0*	183.3	4.9	5.7	5.3		41.1	1.76	34.60	0.15	1.25	29.44	2.67	1.20	54.5					16.7	58.3	25.0	1.2	0.62	0.06
550.0*		21.5	23.5	22.5		25.0	1.85	34.93	0.64			2.65		41.0										
559.5*	183.9	8.1	8.6	8.3		27.8	1.89	35.78	0.23	1.48	34.97	2.64	0.83	45.5					17.6	56.8	25.6	4.2	1.02	0.27
568.5*	184.3	8.2	9.2	8.7		29.1	1.88	36.55	0.24	1.45	34.26	2.64	0.86	46.3					16.2	66.4	17.4	2.8	0.95	0.24
577.5*	184.7	3.4	3.7	3.5	1.3	63.4	1.64	37.12	0.09	1.00	23.63	2.66	1.72	63.3	60.89	27.06	33.83	2.65	6.2	36.2	57.6	11.5	0.29	0.07
602.5*	196.6	5.1	5.3	5.2	1.1	61.3	1.73	37.48	0.14	1.07	1.36	2.65	1.54	60.6	50.98	26.88	24.10	4.64	34.9	41.3	23.8	41.7		0.07
23056-2, GKG-Sedimentprofil																								
2.5	4.0	2.2	2.2	2.2		124.8	1.39	0.10	23.33	0.77	0.59	2.59	3.30	76.7					26.3	55.7	18.0	39.8	0.68	
5.0	7.3	3.1	3.2	3.1		116.3	1.42	0.20	15.63	0.76	0.58	2.03	2.18	68.6					24.3	47.3	28.4	52.6	0.56	
7.5	9.3	2.2	2.5	2.3		95.1	1.45	0.31	7.59	0.71	3.76	2.64	2.65	72.6					37.6	41.4	21.0	51.6	0.57	
10.0	10.3	1.8	2.0	1.9		71.1	1.56	0.45	4.35	0.65	3.46	2.64	1.96	66.2					37.7	33.7	28.6	41.5	0.32	
12.5	11.4	1.7	2.1	1.9																		14.2	0.26	
15.0	13.6	1.0	2.4	1.7		85.7	1.48	0.68	2.47	0.68	0.20	2.65	2.41	70.7					15.2	38.8	46.0	14.7	0.26	
18.0	14.1	2.1	3.7	2.9		51.9	1.69	0.89	3.28	0.58	2.22	2.64	1.43	58.9					17.3	38.3	44.4	12.3	0.23	
20.0	14.4	1.3	1.7	1.5		56.8	1.69	1.02	1.50	0.61	2.36	2.66	1.52	60.4					17.3	39.9	42.8	12.7	0.20	
22.5	14.8	1.6	2.7	2.1		56.8	1.69	1.19	1.80	0.61		2.66	1.52	60.4					17.3	39.9	42.8	14.6	0.20	
25.0	16.4	1.6	2.2	1.9		66.3	1.58	1.33	1.45	0.63		2.65	1.85	64.9					24.7	37.9	37.4	16.4	0.22	
27.5	18.0	1.8	1.8	1.8		66.3	1.58	1.47	1.25	0.63		2.65	1.85	64.9					24.7	37.9	37.4	12.7	0.16	
30.0	19.7	1.8	1.9	1.9		52.4	1.71	1.65	1.15	0.59		2.65	1.42	58.6					23.9	39.5	36.6	14.1	0.24	
32.5	21.3	1.7	1.8	1.8		68.6	1.58	1.79	1.00	0.64		2.65	1.89	65.4					14.4	42.6	43.0	13.3	0.23	
35.0	23.0	1.7	1.7	1.7		63.4	1.62	1.94	0.89	0.63		2.66	1.75	63.7					15.6	42.8	41.6	13.7	0.23	
23057-1, GKG-Sedimentprofil																								
2.5	3.2	1.6	1.7	1.7		101.6	1.46	0.11	14.94	0.72	0.55	2.62	2.71	73.1					41.6	36.8	21.6			
5.0	7.3	1.7	1.7	1.7		92.6	1.53	0.24	7.15	0.79	0.60	2.65	2.42	70.8					32.5	41.7	25.8			
8.0	8.8	1.6	1.8	1.7		88.3	1.46	0.38	4.58	0.78	3.63	2.65	2.49	71.4					38.7	32.7	28.6			
10.5	10.1	0.9	1.0	1.0		84.1	1.51	0.50	1.92	0.82	3.84	2.66	2.32	69.8					24.2	36.0	39.8			
12.5	11.1	0.6	0.8	0.7		67.7	1.54	0.61	1.17	0.92	4.29	2.65	1.96	66.2					24.2	47.2	28.6			
14.0	12.6					55.4	1.63			1.05		2.65	1.59	61.4					24.2	47.2	28.6			
16.5	13.9	0.5	0.6	0.6		75.7	1.50	0.73	0.76	0.85	5.90	2.66	2.20	68.7					17.0	44.6	38.4			
19.5	14.5	1.0	1.6	1.3		64.9	1.47	0.87	1.49	0.89	6.16	2.66	2.06	67.3					16.1	35.3	48.6			
22.0	16.4	1.0	1.2	1.1		60.5	1.52	1.00	1.12	0.95	6.54	2.66	1.88	65.3					25.6	39.6	34.8			
25.0	18.6	1.1	1.5	1.3		63.0	1.58	1.17	1.08	0.97	6.73	2.67	1.82	64.5					19.3	54.2	26.6			
27.5	20.5	1.2	1.5	1.4		63.7	1.53	1.30	1.05	0.93		2.66	1.93	65.8					14.4	48.0	37.6			

¹⁾: Altersangaben nach Vogelsang [1990]; *: korrigierte Teufe

Tab. A.1: Sedimentphysikalische und sedimentologische Ergebnisse

Teufe (cm)	Alter ¹⁾ (*10 ³ J)	Scherfestigkeit				nat. Wasser- geh. (%)	Feucht- raum- gew. (g/cm ³)	Sedim.- auf- last (kPa)	Trocken- raum- gew. (g/cm ³)	Akku.- rate $\frac{g}{cm^2 \cdot 10^3 J}$	spez. Poren- Gew. ziffer (g/cm ³)	Porosi- tät (%)	Fließ- grenze (%H ₂ O)	Roll- grenze (%H ₂ O)	Plasti- zitäts- index	Sensi- tativ- tät	Sand (Gew.%)	Silt (Gew.%)	Ton (Gew.%)	CaCO ₃ (Gew.%)	C _{org} (Gew.%)	S (Gew.%)	
		min.	max.	0	hom.																		
GKG/KAL-Sedimentprofil 23058-2/3																							
1.5		1.3	1.3	1.3														0.0	32.4	67.6	5.9	0.39	0.09
4.0		1.5	1.6	1.6		92.5	1.51	0.20	7.90	0.78	2.71	2.55	71.8				0.3	45.7	54.0	5.7	0.38	0.09	
6.5		1.2	1.9	1.5		90.7	1.49	0.32	4.83	0.78	2.72	2.57	72.0				0.0	34.8	65.2	5.2	0.40	0.09	
9.0		1.6	1.6	1.6		88.4	1.49	0.44	3.70	0.79	2.71	2.50	71.5				0.0	32.0	68.0	5.3	0.39	0.08	
11.5		1.6	1.6	1.6		92.3	1.43	0.55	2.96	0.74	2.70	2.73	73.2				0.1	39.3	60.6	5.6	0.38	0.08	
14.0		1.6	1.6	1.6		88.3	1.44	0.65	2.51	0.77	2.69	2.60	72.2				0.1	37.5	62.4				
16.5		1.5	1.6	1.6		90.1	1.45	0.76	2.08	0.76	2.70	2.64	72.5				0.0	36.2	63.8	5.8	0.45	0.08	
19.0		1.3	1.4	1.4		90.1	1.45	0.87	1.59	0.76	2.71	2.65	72.6				0.0	51.6	48.4	6.1	0.54	0.09	
21.5		1.1	1.4	1.3		93.7	1.47	0.99	1.29	0.76	2.72	2.67	72.7				0.0	46.8	53.2	7.7	0.57	0.21	
26.0		0.6	0.6	0.6		13.1	1.40	1.17	0.50	0.66	2.69	3.19	76.1				0.0	42.8	57.2	8.0	0.59	0.22	
31.0		0.7	0.7	0.7		09.2	1.41	1.37	0.49	0.67	2.70	3.12	75.7				0.0	39.4	60.6	8.1	0.57	0.21	
36.0		0.7	0.7	0.7		08.0	1.43	1.58	0.46	0.69	2.71	3.06	75.3				0.0	50.3	31.0	23.0	0.34	0.08	
81.0		2.1	2.1	2.1		79.6	1.51	3.83	0.56	0.84	2.66	2.23	69.1				18.7	38.9	61.0	7.6	0.45	0.07	
85.0		1.8	1.9	1.9		79.8	1.47	4.01	0.47	0.82	2.69	2.38	70.4				0.1	38.9	61.0	7.6	0.45	0.07	
90.0		2.6	2.7	2.6		80.9	1.47	4.24	0.61	0.81	2.70	2.40	70.6				0.0	33.6	66.4	6.9	0.43	0.08	
94.5		2.0	2.2	2.1		77.5	1.50	4.46	0.48	0.85	2.69	2.26	69.4				0.1	39.5	60.4	6.3	0.50	0.07	
99.0		2.9	2.9	2.9		62.6	1.64	4.75	0.60	1.01	2.70	1.75	63.6				0.1	55.7	44.2	8.0	0.44	0.06	
104.0		4.4	4.5	4.4		59.8	1.68	5.08	0.87	1.05	2.68	1.61	61.7				0.0	56.4	43.6	8.2	0.54	0.06	
113.0		0.4	0.6	0.5		64.5	1.40	5.43	0.10	0.85	2.66	2.20	68.8				0.1	55.6	44.4	11.1	0.72	0.18	
119.5		0.9	1.0	1.0		94.1	1.39	5.68	0.17	0.72	2.66	2.80	73.7				20.8	48.1	31.2	39.2	0.48	0.10	
127.0		0.9	1.1	1.0		87.7	1.44	6.00	0.17	0.76	2.69	2.60	72.3				0.2	40.4	59.4	6.2	0.44	0.08	
135.0		2.7	2.7	2.7		75.3	1.42	6.33	0.42	0.81	2.71	2.43	70.9				0.1	38.7	61.2	5.8	0.51	0.06	
139.5		2.5	2.7	2.6		60.8	1.70	6.64	0.38	1.06	2.71	1.63	61.9				0.0	48.4	51.6	7.6	0.52	0.05	
142.5		1.4	1.6	1.5		53.7	1.54	6.80	0.23	1.00	2.67	1.72	63.3				14.8	46.8	38.4	9.4	0.34	0.05	
146.5		1.6	1.8	1.7		67.5	1.52	7.01	0.25	0.91	2.67	2.02	66.9				13.4	47.4	39.2	8.7	0.48	0.07	
162.0		1.9	2.0	2.0		87.9	1.50	7.56	0.26	0.80	2.70	2.48	71.2				0.0	32.4	67.6	6.2	0.48	0.07	
169.5		2.7	3.1	2.9		39.9	1.73	8.10	0.35	1.24	2.70	1.23	55.2				0.1	77.4	22.6	7.3	0.49	0.04	
188.0		1.4	1.4	1.4		81.0	1.44	8.90	0.16	0.79	2.70	2.48	71.3				6.7	33.5	59.8	9.7	0.59	0.08	
400.0		2.5	3.6	3.0																			
401.0		2.0	2.0	2.0		71.1	1.53	19.97	0.10	0.89	2.72	2.12	68.0				0.3	32.9	66.8	10.3	0.33	0.06	
402.0		3.7	3.8	3.7		71.1	1.53	20.02	0.19	0.89	2.72	2.12	68.0				0.3	32.9	66.8	10.3	0.33	0.06	
403.0		3.7	4.0	3.8		71.1	1.53	20.07	0.19	0.89	2.72	1.96	66.2				0.0	28.4	71.6	8.9	0.31	0.06	
406.0		4.3	4.3	4.3		64.2	1.55	20.24	0.21	0.95	2.73	1.95	66.1				0.0	39.4	60.6	8.9	0.31	0.06	
409.0		4.9	5.1	5.0		64.2	1.55	20.40	0.25	0.95	2.72	1.35	57.4				22.3	42.1	35.6	10.3	0.38	0.05	
411.0		5.1	6.1	5.6		45.2	1.69	20.53	0.27	1.17	2.67	1.35	57.4				22.3	42.1	35.6	10.3	0.38	0.05	
412.5		4.8	4.8	4.8		45.2	1.69	20.64	0.23	1.17	2.67	1.35	57.4				0.3	36.5	63.2	7.9	0.54	0.20	
483.0		1.8	1.8	1.8		67.4	1.58	24.64	0.07	0.94	2.73	1.97	66.3				0.1	34.6	65.4	9.9	0.62	0.08	
489.0		2.9	2.9	2.9		70.8	1.55	24.97	0.11	0.91	2.67	2.02	66.9				0.0	43.8	56.2	11.4	0.67	0.13	
528.5		2.0	2.4	2.2		56.8	1.66	27.53	0.08	1.06	2.69	1.60	61.5				22.4	46.8	30.8	14.0	0.31	0.06	
533.5		3.4	4.5	3.8		44.8	1.70	27.87	0.14	1.17	2.66	1.33	57.0				16.3	36.9	46.8	15.6	0.34	0.06	
538.5		5.1	5.5	5.3		54.9	1.72	28.22	0.19	1.11	2.67	1.47	59.6				21.2	47.0	31.8	10.8	0.19	0.04	
579.0		5.1	5.9	5.5		43.6	1.75	31.24	0.18	1.22	2.66	1.24	55.3				26.3	46.7	27.0	10.2	0.15	0.03	
587.5		3.7	3.7	3.7		38.0	1.84	31.94	0.11	1.34	2.64	1.02	50.6										

¹⁾: Altersangaben nach Vogelsang [1990]

Tab. A.1: Sedimentphysikalische und sedimentologische Ergebnisse

Tiefe (cm)	Alter ¹⁾ (*10 ³ J)	Scherfestigkeit				nat. Wasser- geh. (%)	Feucht- raum- gew. (g/cm ³)	Sedim.- auf- last (kPa)	Trocken- raum- gew. (g/cm ³)	Akku- rate g cm ² *10 ³ J	spez. Poren- Gew. ziffer (g/cm ³)	Porosi- tät (%)	Fließ- grenze (%H ₂ O)	Roll- grenze (%H ₂ O)	Plasti- zitäts- index	Sensi- tativ- tät	Sand (Gew.%)	Silt (Gew.%)	Ton (Gew.%)	CaCO ₃ (Gew.%)	C _{org} (Gew.%)	S (Gew.%)		
		min.	max.	0	hom.																			
23059-2, KAL-Sedimentprofil																								
1.0	2.1	1.9	2.2	2.1	0.4	113.4	1.41	0.04	52.25	0.66	0.92	2.36	2.65	72.6	78.3	43.7	34.6	5.0	33.2	60.1	6.8	53.0	0.67	0.15
3.5	3.9	3.4	3.4	3.4	0.5	96.2	1.48	0.16	21.21	0.76	1.05	2.45	2.32	69.9				6.2	28.9	63.1	8.0	53.6	0.48	0.12
6.0	5.7	2.8	2.8	2.8	0.6	94.4	1.49	0.28	9.90	0.76	1.06	2.65	2.55	71.8				4.5	31.2	52.0	16.8	52.7	0.40	0.12
8.5	7.5	3.0	3.0	3.0	0.6	92.3	1.48	0.40	7.49	0.77	1.07	2.61	2.48	71.3				4.7	47.4	33.9	18.8	44.6	0.34	0.11
11.0	8.9	2.4	2.7	2.5	0.5	84.0	1.52	0.52	4.78	0.83	2.75	2.55	2.16	68.4				4.8	37.5	47.5	15.0	30.3	0.27	0.09
13.5	9.6	1.2	1.4	1.3	0.5	80.3	1.53	0.65	2.03	0.85	2.83	2.67	2.22	69.0				2.5	16.2	48.6	35.2	14.1	0.24	0.08
16.0	10.5	1.3	1.3	1.3	0.6	76.7	1.59	0.80	1.67	0.90	2.31	2.66	2.04	67.1				2.3	16.1	50.9	33.0	8.7	0.28	0.07
18.5	11.5	2.7	3.4	3.0	0.8	60.7	1.65	0.96	3.15	1.03	2.64	2.67	1.67	62.5	50.7	25.9	24.8	4.0	15.0	59.2	25.8	9.7	0.28	0.06
21.0	12.4	1.4	2.1	1.8	0.7	76.7	1.54	1.09	1.64	0.87	2.24							2.7	13.1	43.3	43.6			
23.5	13.4	1.6	1.8	1.7														10.5	33.9	55.6	12.6	0.26	0.07	
26.0	14.1	1.2	1.4	1.3	0.6	90.5	1.44	1.31	1.01	0.76	2.92	2.68	2.62	72.4				2.3	10.5	33.9	55.6	12.7	0.31	0.09
28.5	14.7	1.4	1.4	1.4	0.6	76.9	1.54	1.44	0.99	0.87	2.95	2.67	2.15	68.2				2.3	17.9	34.3	47.8	12.4	0.30	0.07
31.0	15.5	1.4	1.4	1.4	0.6	86.6	1.52	1.57	0.91	0.81	2.76	2.71	2.41	70.7				2.5	9.4	38.8	51.8	14.3	0.25	0.08
33.5	16.2	1.4	1.8	1.6	0.6	82.2	1.54	1.70	0.96	0.85	2.87	2.68	2.25	69.2				2.6	12.3	39.1	48.6	13.1	0.30	0.08
36.0	16.9	1.4	1.4	1.4	0.6	73.0	1.57	1.84	0.78	0.91	3.08	2.69	2.03	67.0				2.4	17.5	37.5	45.0	12.8	0.37	0.08
38.5	17.7	1.4	1.4	1.4														1.9	8.4	48.0	43.6	11.4	0.19	0.07
49.5*	20.9	1.0	1.1	1.0	0.6	77.2	1.59	2.62	0.39	0.90	3.03	2.68	2.07	67.4				1.6	11.9	45.3	42.8	12.2	0.17	0.06
57.0*	23.2	0.6	0.8	0.7	0.4	71.0	1.60	3.06	0.23	0.94	3.18	2.66	1.91	65.6				1.9	15.8	47.2	37.0	7.6	0.17	0.06
71.5*	27.6	1.4	1.5	1.5	0.8	58.3	1.60	3.91	0.38	1.01	2.48	2.67	1.71	63.1				2.5	9.5	42.7	47.8	7.9	0.18	0.08
80.0*	31.1	1.4	1.6	1.5	0.6	74.7	1.57	4.38	0.34	0.90	2.21	2.67	2.05	67.2				1.7	17.4	46.6	36.0	10.3	0.20	0.06
91.0*	35.5	1.2	1.3	1.3	0.8	56.3	1.57	5.00	0.26	1.00	2.47	2.65	1.71	63.0				1.8	17.1	45.1	37.8			
101.5*	39.8	1.7	1.8	1.8	1.0	57.8	1.55	5.56	0.32	0.98	2.41	2.66	1.78	64.1				1.7	15.2	45.8	39.0	8.5	0.22	0.06
112.0*	44.1	1.7	1.7	1.7	1.0	61.9	1.62	6.20	0.28	1.00	2.47	2.66	1.72	63.2				1.5	16.1	45.3	38.6	7.2	0.24	0.06
122.5*	48.3	1.1	1.8	1.6	1.1	54.0	1.64	6.86	0.23	1.06	2.62	2.66	1.56	61.0				1.7	14.4	49.8	35.8	9.8	0.28	0.06
125.0*	49.3	1.7	1.8	1.8	1.0	55.0	1.63	7.01	0.26	1.05	2.58	2.66	1.60	61.5				2.1	11.6	44.8	43.6	9.0	0.27	0.07
135.5*	53.6	2.0	2.5	2.3	1.1	65.3	1.58	7.60	0.30	0.95	2.34	2.67	1.87	65.2	58.0	28.5	29.6	1.2	20.4	44.0	35.6	26.6	0.16	0.04
149.5*	68.6	1.4	1.5	1.5	1.3	55.8	1.62	8.45	0.18	1.04	1.38	2.67	1.64	62.1	42.6	24.2	18.3	1.9	22.6	47.4	30.0	22.0	0.16	0.06
156.0*	73.5	2.1	2.6	2.4	1.2	57.2	1.64	8.85	0.27	1.04	1.38	2.67	1.63	62.0				2.9	24.5	45.5	30.0	32.0	0.24	0.07
163.5*	79.1	2.7	3.3	3.0	1.0	62.6	1.54	9.25	0.32	0.95	0.51	2.66	1.88	65.2				2.4	16.3	52.5	31.2	16.7	0.28	0.06
172.5*	92.6	2.1	2.5	2.3	1.0	58.6	1.59	9.77	0.24	1.00	1.23	2.68	1.75	63.6	53.8	27.7	26.0	1.9	22.8	39.2	38.0	20.1	0.22	0.06
181.5*	99.9	1.8	2.0	1.9	1.0	62.7	1.60	10.30	0.19	0.99	0.54	2.66	1.77	63.9				2.1	22.0	50.6	27.4	22.9	0.26	0.07
191.0*	111.7	2.1	2.2	2.2	1.0	65.7	1.47	10.74	0.20	0.89	0.92	2.67	2.09	67.6	62.9	31.0	31.8	2.2	18.4	44.8	36.8	19.1	0.22	0.07
194.5*	115.1	2.0	2.9	2.5	1.1	60.6	1.62	10.95	0.22	1.01	1.05	2.68	1.73	63.3	55.0	30.4	24.6	3.3	31.9	43.7	24.4	39.7	0.19	0.08
204.0*	123.0	2.5	2.5	2.5	0.8	80.0	1.41	11.33	0.22	0.78	2.39	2.66	2.48	71.2	67.8	40.7	27.2	1.8	19.3	43.9	36.8	7.9	0.16	0.04
207.5*	124.2	2.0	2.2	2.1	1.2	60.3	1.75	11.59	0.18	1.09	3.34	2.65	1.48	59.7								5.8	0.22	0.05
212.0*	126.1	2.7	4.0	3.5		50.3	1.77	11.93	0.29	1.18	2.10							2.3	15.1	40.7	44.2	14.4	0.19	0.05
217.5*	129.2	2.4	3.8	3.1	1.4	52.6	1.49	12.20	0.25	0.97	1.73	2.66	0.93	48.1	38.7	19.3	19.4	1.2	26.8	45.5	27.8	1.5	0.20	0.04
224.5*	133.2	4.4	4.7	4.5	3.7	35.5	1.92	12.83	0.35	1.42	2.52											13.7	0.22	0.06
229.0*	135.3	4.0	4.6	4.3		62.0	1.67	13.12	0.33	1.03	5.30							1.6	8.8	60.8	30.4	10.7	0.17	0.06
238.5*	137.1	1.8	1.9	1.9	1.2	75.0	1.55	13.63	0.14	0.89	4.55	2.67	2.09	67.7	62.1	29.7	32.4	1.5	13.6	44.2	42.2	1.7	0.35	0.03
244.0*	138.2	4.0	4.2	4.1	2.8	46.6	1.70	14.01	0.29	1.16	5.96	2.67	1.36	57.6				1.8				5.8	0.24	0.05
247.5*	138.9	3.0	3.7	3.3	1.9	55.7	1.68	14.25	0.23	1.08	5.56							1.9	8.9	37.3	53.8	8.1	0.21	0.04
254.5*	140.3	2.4	3.4	3.0	1.6	55.8	1.56	14.63	0.20	1.00	5.15							1.8	17.2	30.8	52.0			
261.0*	142.1	6.6	8.3	7.5	4.3													1.2	9.3	40.7	50.0	5.8	0.17	0.05
269.0*	148.4	2.0	2.7	2.4	1.9	52.0	1.53	15.39	0.15	1.01	1.28	2.68	1.73	63.3										

¹⁾: Altersangaben nach Vogelsang [1990]; *: korrigierte Teufe

Tab. A.1: Sedimentphysikalische und sedimentologische Ergebnisse

Tiefe (cm)	Alter ¹⁾ (*10 ³ J)	Scherfestigkeit				nat. Wasser- geh. (%)	Feucht- raum- gew. (g/cm ³)	Sedim.- auf- last (kPa)	Trocken- raum- gew. (g/cm ³)	Akku- rate g cm ² *10 ³ J	spez. Poren- Gew. ziffer (g/cm ³)	Poro- sität (%)	Fließ- grenze (%H ₂ O)	Roll- grenze (%H ₂ O)	Plasti- zitäts- index	Sensi- tivität	Sand (Gew.%)	Silt (Gew.%)	Ton (Gew.%)	CaCO ₃ (Gew.%)	C _{org} (Gew.%)	S (Gew.%)		
		min.	max.	0	hom.																			
23059-2, KAL-Sedimentprofil (Fortsetzung)																								
273.5*	152.0	6.0	7.8	6.8	4.4	28.4	1.85	15.76	0.43	1.44	1.83	2.66	0.89	47.2	34.5	19.6	14.9	1.6	30.0	47.8	22.2	0.7	0.21	0.03
280.5*	157.5	3.1	3.3	3.2	1.7	61.6	1.50	16.10	0.20	0.93	1.30	2.66	1.94	66.0				1.9	10.5	39.2	50.4	8.8	0.21	0.06
287.5*	162.4	4.7	5.3	5.0	2.7	41.8	1.64	16.54	0.30	1.15	1.62	2.67	1.37	57.8				1.9	12.9	43.9	43.2	2.7	0.39	0.05
294.5*	167.4	1.5	3.1	2.4	0.7	68.1	1.53	16.91	0.14	0.91	1.28	2.67	2.00	66.6				3.2	9.7	36.7	53.6	15.0	0.18	0.06
304.0*	173.0	2.7	4.1	3.3	1.7	43.8	1.67	17.53	0.19	1.16	2.92	2.67	1.36	57.5				1.9	13.5	45.7	40.8	2.4	0.57	0.05
307.5*	174.3	4.9	6.5	5.7	4.0	40.3	1.68	17.76	0.32	1.20	3.00	2.66	1.28	56.1				1.4	20.2	40.0	39.8	3.2	0.23	0.05
323.5*	180.7	7.8	8.2	8.0	5.8	41.0	1.78	18.99	0.42	1.27	3.18	2.67	1.16	53.8	40.2	23.0	17.2	1.4	17.8	43.2	39.0	0.5	0.40	0.04
327.0*	182.1	9.0	9.4	9.2	3.0	62.6	1.58	19.19	0.48	0.97	2.44	2.66	1.80	64.3				3.0	12.3	37.4	50.4	1.2	0.65	0.06
333.0*	184.5	2.2	2.5	2.4	1.7	58.3	1.62	19.56	0.12	1.02	2.51	2.66	1.67	62.5				1.4	7.5	43.2	49.4			
341.0*	187.8	2.9	3.3	3.1	1.4	66.3	1.61	20.04	0.15	0.97	2.39	2.65	1.80	64.3				2.2	25.8	48.3	25.8	24.7	0.21	0.06
350.5*	191.6	3.8	4.0	3.9	1.3	58.9	1.64	20.64	0.19	1.03	2.54	2.66	1.64	62.2	52.6	31.9	20.7	3.0	23.5	41.9	34.6			
355.5*	194.9	2.9	3.7	3.3	1.2	58.9	1.64	20.95	0.16	1.03	0.83	2.66	1.64	62.1				2.7	23.7	40.3	36.0			
363.5*	207.1	2.5	3.1	2.8	1.4	48.3	1.70	21.50	0.13	1.14	0.61	2.66	1.38	58.0				1.9	14.7	51.7	33.6			
369.0*	216.3	4.1	4.6	4.3	1.6	61.2	1.59	21.82	0.20	0.99	1.35	2.67	1.77	63.9				2.8	12.4	51.2	36.4	11.9	0.23	0.05
375.5*	221.0	6.5	6.6	6.6	1.5	65.4	1.48	22.12	0.30	0.90	1.22	2.65	2.03	67.0	57.0	30.2	26.8	4.3	17.4	52.8	29.8	15.4	0.21	0.07
392.5*	232.6	2.9	3.0	2.9	1.4	46.4	1.60	23.12	0.13	1.09	1.79	2.65	1.49	59.8				2.1	14.7	52.7	32.6	12.2	0.20	0.06
400.5*	237.4	2.7	2.9	2.8	1.0	74.6	1.59	23.58	0.12	0.91	1.49	2.66	2.00	66.7				2.7	25.8	42.0	32.2	26.1	0.23	0.07
404.5*	239.9	2.4	2.7	2.5	1.1	60.0	1.58	23.81	0.10	0.99	2.25	2.67	1.77	63.9	53.2	27.5	25.7	2.2	13.2	47.6	39.2	6.4	0.19	0.06
409.0*	241.9	3.5	3.7	3.6	1.7	54.7	1.73	24.13	0.15	1.12	2.53	2.65	1.43	58.9				2.1	14.6	43.6	41.8	5.7	0.15	0.06
413.5*	243.9	3.3	3.5	3.4	2.4	45.0	1.64	24.41	0.14	1.13	2.56	2.66	1.41	58.6				1.4	22.5	41.7	35.8	10.0	0.18	0.04
421.0*	247.2	4.2	4.3	4.2	2.5	37.5	1.78	24.99	0.17	1.29	2.94	2.68	1.12	52.9				1.7	20.1	43.7	36.2	2.8	0.20	0.04
424.0*	248.6	3.3	3.3	3.3	2.5	59.9	1.65	25.18	0.13	1.03	2.34	2.68	1.67	62.5	48.0	22.8	25.2	1.3	15.7	47.3	37.0	7.4	0.24	0.06
428.5*	250.6	7.3	7.3	7.3	4.5	36.3	1.84	25.55	0.29	1.35	3.06	2.65	1.01	50.3	37.4	17.9	19.5	1.6	32.2	38.7	29.2			
434.5*	253.2	5.4	5.7	5.6	3.1	42.7	1.77	26.00	0.21	1.24	3.50	2.63	1.18	54.1				1.8	30.5	42.9	26.6			
439.5*	255.0	10.6	14.3	12.4	1.5	89.0	1.41	26.20	0.47	0.75	2.12	2.54	2.48	71.3	66.1	46.7	19.4	8.4	17.6	57.8	24.6	5.1	0.15	0.07
442.0*	255.9	2.2	3.9	3.1	1.3	74.7	1.51	26.33	0.12	0.86	0.61	2.55	2.03	67.0				2.4	19.5	41.2	39.4	9.5	0.24	
445.0*	260.1	3.2	3.3	3.2	1.2	59.7	1.59	26.50	0.12	0.99	0.71	2.64	1.72	63.3				2.7	15.3	47.8	37.0	7.2	0.17	0.04
455.5*	274.8	2.8	3.1	2.9	1.7	54.2	1.69	27.21	0.11	1.10	0.78	2.64	1.47	59.5				1.7	17.6	42.6	39.8	18.5	0.15	0.05
468.5*	292.0	3.3	3.9	3.6	1.4	54.3	1.69	28.09	0.13	1.10	1.01	2.65	1.48	59.7				2.6	20.2	43.2	36.6	17.0	0.16	0.05
474.5*	298.5	4.5	7.1	5.6	1.4	57.9	1.63	28.46	0.20	1.03	1.40	2.66	1.64	62.2	50.0	25.7	24.4	3.9	24.1	40.7	35.2	21.0	0.24	0.06
493.0*	316.3	4.0	4.1	4.0	1.2	67.9	1.60	29.54	0.14	0.95	0.46	2.64	1.85	64.9				3.4	22.3	41.1	36.6	17.5	0.17	0.06
503.5*	331.4	2.7	2.8	2.7	1.0	73.8	1.54	30.10	0.09	0.89	8.00	2.65	2.06	67.3	57.0	26.7	30.3	2.6	21.3	41.7	37.0	19.5	0.16	0.05
507.0*	331.8	5.0	6.2	5.6	1.8	54.1	1.60	30.31	0.18	1.04	9.35	2.63	1.59	61.5				3.1	13.4	43.2	43.4	1.5	0.19	0.06
517.5*	332.9	10.6	11.4	11.0	5.5	31.5	1.86	31.20	0.35	1.41	12.73	2.64	0.91	47.7				2.0	37.9	34.1	28.0	0.2	0.14	0.03
524.0*	333.7	6.2	8.0	7.1	4.4	40.0	1.74	31.67	0.22	1.24	11.18	2.61	1.15	53.6				1.6	13.3	53.9	32.8			
534.0*	334.8	60.0	60.0	60.0	6.1	39.4	1.95	32.60	1.84	1.19	10.71	2.66	1.29	51.1	53.9	25.7	28.2	9.9	12.1	47.3	40.6	0.5	0.43	0.04
538.0*	335.2	13.9	13.9	13.9	6.0	44.2	1.75	32.89	0.42	1.21	10.90	2.66	1.25	55.6				2.3	13.3	45.3	41.4	0.3	0.50	0.05
541.0*	335.6	11.0	11.0	11.0														11.7	11.9	47.7	40.4	0.9	0.52	0.05
544.0*	335.9	60.0	60.0	60.0	5.2	42.9	1.93	33.44	1.79	1.21	10.92	2.63	1.22	50.5										
550.0*	336.5	14.7	15.8	15.2														1.3	11.9	49.5	38.6	1.0	0.94	0.39
555.5*	337.2	12.8	24.0	19.8	15.8	40.1	1.95	34.51	0.57	1.39	12.55	2.63	0.93	48.3	54.7	25.8	28.9	0.9	12.6	51.0	36.4			
558.0*	337.4	8.7	10.2	9.5	10.7																			
564.0*	338.1	7.2	7.7	7.4														0.9	15.5	39.1	45.4	1.0	1.14	0.37
572.0*	339.0	8.9	9.4	9.1	10.7	31.8	1.91	35.98	0.25	1.45	13.01	2.62	0.86	46.2										

¹⁾: Altersangaben nach Vogelsang [1990]; *: korrigierte Teufe

Tab. A.1: Sedimentphysikalische und sedimentologische Ergebnisse

Teufe (cm)	Alter ¹⁾ (*10 ³ J)	Scherfestigkeit				nat. Wasser- geh. (%)	Feucht- raum- gew. (g/cm ³)	Sedim.- auf- last (kPa)	Trocken- raum- gew. (g/cm ³)	Akku.- rate g cm ² *10 ³ J	spez. Poren- Gew. ziffer (g/cm ³)	Porosi- tät (%)	Fließ- grenze (%H ₂ O)	Roll- grenze (%H ₂ O)	Plasti- zitäts- index	Sensi- tativ- tät	Sand (Gew.%)	Silt (Gew.%)	Ton (Gew.%)	CaCO ₃ - (Gew.%)	C _{org} (Gew.%)	S (Gew.%)	
		min.	max.	0	hom.																		
23060-2, GKG-Sedimentprofil																							
2.5	2.7	2.1	2.4	2.2	97.1	1.44	0.11	21.03	0.73	0.99	2.41	2.39	70.5					42.3	37.9	19.8			
5.0	3.8	2.6	3.1	2.8	75.8	1.44	0.21	13.05	0.82	1.12	2.62	2.28	69.5					46.0	47.4	6.6			
7.5	4.9	3.2	3.6	3.4	79.3	1.57	0.35	9.51	0.87	1.19	2.63	2.08	67.6					53.2	32.2	14.6			
10.0	6.0	2.9	3.6	3.2	63.5	1.60	0.50	6.42	0.98	2.32	2.54	1.67	62.5					53.6	13.8	32.6			
12.5	7.5	3.2	3.6	3.4	53.1	1.69	0.67	5.03	1.10	2.62	2.61	1.43	58.8					17.6	61.9	20.6			
15.0	9.0	1.8	3.3	2.6	45.8	1.77	0.86	2.97	1.22	2.90	2.66	1.24	55.4					10.3	69.9	19.8			
17.5	10.5	1.4	1.4	1.4	52.2	1.62	1.01	1.41	1.07	2.54	2.66	1.56	60.9					31.1	54.5	14.4			
20.0	12.0	1.7	2.0	1.9	69.4	1.58	1.15	1.63	0.93	2.22	2.64	1.90	65.5					43.6	35.4	21.0			
22.5	13.5	1.4	1.5	1.5	58.4	1.56	1.29	1.15	0.98	2.34	2.65	1.76	63.8					32.5	29.2	38.4			
25.0	15.0	1.4	1.9	1.7	61.9	1.61	1.44	1.17	1.00	2.37	2.66	1.74	63.5					33.7	26.9	39.4			
27.5	16.5	1.3	1.6	1.5	60.9	1.63	1.59	0.93	1.01		2.67	1.71	63.1					32.4	33.2	34.4			
30.0	18.0	2.2	4.1	3.2	64.5	1.58	1.74	1.82	0.96		2.67	1.85	64.9					25.4	36.2	38.4			
32.5	19.5	1.0	1.4	1.2	68.4	1.49	1.86	0.66	0.88		2.69	2.12	67.9					11.1	32.7	56.2			
35.0	21.0	1.5	1.6	1.6	58.7	1.47	1.97	0.80	0.93		2.68	1.97	66.3					14.6	46.2	39.2			
23061-3, GKG-Sedimentprofil																							
2.0	2.1	1.2	1.3	1.3	158.9	1.32	0.06	20.21	0.51	2.96	2.32	3.66	78.5										
4.5	2.5	1.6	1.6	1.6	149.6	1.32	0.14	11.44	0.53	3.08	2.03	2.92	74.5										
7.0	2.9	1.6	1.6	1.6	148.2	1.33	0.22	7.28	0.54	3.11	2.00	2.82	73.8										
9.5	3.3	1.3	2.1	1.7	152.2	1.32	0.30	5.73	0.52	3.04	2.15	3.21	76.2										
12.0	3.7	1.1	1.9	1.5	149.3	1.34	0.39	3.95	0.54	3.13	2.37	3.51	77.8										
14.5	4.1	1.3	1.4	1.4	130.6	1.38	0.48	2.88	0.60	3.47	2.43	3.17	76.0										
17.0	4.5	0.8	1.2	1.0	138.5	1.36	0.57	1.80	0.57	3.31	2.62	3.71	78.8										
19.5	4.8	1.4	2.0	1.7	134.6	1.34	0.65	2.67	0.57	3.31	2.64	3.75	78.9										
22.0	5.2	1.3	2.0	1.7	129.7	1.35	0.74	2.29	0.59	3.41	2.55	3.45	77.5										
26.0	5.8	1.2	1.2	1.2	110.6	1.40	0.89	1.37	0.67	3.86	2.65	3.08	75.5										
28.5	6.2	1.2	1.2	1.2	123.1	1.42	1.00	1.22	0.64	3.69	2.65	3.27	76.6										
31.0	6.6	1.3	1.5	1.4	98.8	1.44	1.11	1.29	0.73	4.22	2.67	2.77	73.4										
33.5	7.0	1.5	1.9	1.7	94.2	1.44	1.21	1.43	0.74	4.30	2.66	2.68	72.8										
35.5	7.3	1.8	2.0	1.9	94.0	1.49	1.31	1.48	0.77	4.46	2.66	2.54	71.8										
38.0	7.7	2.5	2.5	2.5	87.9	1.49	1.43	1.71	0.79	4.60	2.63	2.40	70.6										
40.5	8.2	2.7	2.9	2.8	84.8	1.43	1.54	1.79	0.77		2.64	2.50	71.4										
43.0	8.7	3.3	3.3	3.3	84.8	1.43	1.64	1.99	0.77	4.49	2.64	2.50	71.4										
23062-3/1, GKG/KAL-Sedimentprofil																							
2.5	3.5	3.1	3.6	3.3	120.8	1.38	0.09	36.89	0.62	0.91	2.58	3.24	76.4					31.1	54.8	14.2	58.4	0.74	0.13
5.0	5.2	4.3	4.3	4.3	108.7	1.40	0.19	22.53	0.67	0.98	2.61	2.99	74.9					29.8	57.6	12.6	53.3	0.50	0.12
7.5	6.9	3.4	4.1	3.7	97.1	1.47	0.31	12.00	0.75	1.09	2.61	2.59	72.1					33.7	46.9	19.4	53.5	0.36	0.10
10.0	8.6	3.7	5.3	4.5	91.6	1.39	0.40	11.23	0.73	4.84	2.65	2.75	73.3					43.5	40.9	15.6	55.1	0.28	0.10
12.5	9.0	3.5	3.5	3.0	95.4	1.48	0.52	5.69	0.76	5.05	2.63	2.56	71.9					42.5	43.3	14.2	42.1	0.35	0.10
15.0	9.3	2.2	2.4	2.3			0.75	3.07															
17.5	9.7	1.5	2.1	1.8	90.0	1.47	0.88	2.09	0.78	5.17	2.65	2.50	71.4					18.9	53.9	27.2	20.3	0.27	0.08
20.0	10.1	1.2	1.2	1.2	79.5	1.53	1.01	1.21	0.85	1.45	2.66	2.21	68.8					16.9	51.3	31.8	10.6	0.29	0.06

¹⁾: Altersangaben nach Vogelsang [1990]

Tab. A.1: Sedimentphysikalische und sedimentologische Ergebnisse

Tiefe (cm)	Alter ¹⁾ (*10 ³ J)	Scherfestigkeit				nat. Wasser- geh. (%)	Feucht- raum- gew. (g/cm ³)	Sedim.- auf- last (kPa)	Trocken- raum- gew. (g/cm ³)		Akku- rate g cm ² *10 ³ J	spez. Poren- Gew. ziffer (g/cm ³)	Poro- sität (%)	Fließ- grenze (%H ₂ O)	Roll- grenze (%H ₂ O)	Plasti- zitäts- index	Sensi- tät	Sand (Gew.%)	Silt (Gew.%)	Ton (Gew.%)	CaCO ₃ (Gew.%)	C _{org} (Gew.%)	S (Gew.%)	
		min.	max.	0	hom.				c _u /Po															
23062-3/1. GKG/KAL-Sedimentprofil (Fortsetzung)																								
21.5	11.0	2.2	2.2	2.2		69.2	1.59	1.09	2.06	0.94	1.61	2.65	1.89	65.4							11.3	0.25	0.05	
22.5	11.6	1.8	3.3	2.6		69.2	1.59	1.15	2.22	0.94	1.61	2.65	1.89	65.4				15.6	49.0	35.4	11.3	0.25	0.05	
25.0	13.0	1.2	1.8	1.5		74.4	1.55	1.29	1.19	0.89	1.52	2.68	2.09	67.6				15.5	53.5	31.0	13.2	0.24	0.06	
27.5	14.1	1.7	1.7	1.7		75.1	1.56	1.43	1.21	0.89	2.74	2.67	2.08	67.5				15.8	39.3	45.0	14.2	0.26	0.05	
30.0	14.9	1.5	2.0	1.8		74.8	1.53	1.56	1.15	0.88	3.62	2.68	2.14	68.1				18.1	46.7	35.2	13.4	0.20	0.05	
32.5	15.5	1.6	2.5	2.0		66.8	1.61	1.71	1.19	0.97	3.99	2.65	1.81	64.4				20.2	46.6	33.2	13.2	0.18	0.04	
35.0	16.1	1.5	1.6	1.6		80.6	1.51	1.83	0.86	0.84	3.46	2.69	2.29	69.6				13.8	49.0	37.2	15.7	0.23	0.07	
37.0	16.6	1.4	1.6	1.5		80.6	1.51	1.93	0.79	0.84	3.46										15.7	0.23	0.07	
119.0	42.8	1.6	1.6	1.6		55.3	1.58	6.77	0.23	1.02	2.51	2.66	1.68	62.6				19.5	46.5	34.0	9.5	0.20	0.06	
127.0	46.1	1.7	1.7	1.7		45.9	1.60	7.90	0.21	1.10	2.70	2.65	1.48	59.6				24.0	49.2	26.8	9.7	0.16	0.04	
140.0	51.4	1.2	1.8	1.5		58.0	1.42	8.44	0.18	0.90	2.21	2.66	2.04	67.1				14.1	43.3	42.6	10.2	0.23	0.06	
148.5	54.8	2.8	3.2	3.0		38.3	1.71	9.03	0.33	1.24	1.26	2.65	1.19	54.3				17.2	48.1	34.8				
162.5	66.6	1.3	1.6	1.5		58.2	1.59	9.84	0.15	1.00	1.77	2.62	1.67	62.6				23.7	48.5	27.8	19.2	0.19	0.06	
171.5	71.8	1.4	1.4	1.4		62.2	1.58	10.35	0.14	0.98	1.72	2.66	1.79	64.2				26.2	43.0	30.8	30.0	0.18	0.08	
180.0	76.6	1.5	1.6	1.6		66.0	1.66	10.90	0.14	1.00	1.76	2.67	1.74	63.5				31.1	45.9	23.0	41.0	0.22	0.09	
186.0	80.6	1.0	1.2	1.1		65.7	1.59	11.25	0.10	0.96	0.86	2.67	1.85	65.0				25.3	46.9	27.8	12.4	0.23	0.09	
227.0	120.1	0.8	0.8	0.8		90.7	1.55	13.46	0.06	0.81	1.05	2.67	2.37	70.3				31.2	36.0	32.8	59.9	0.27	0.14	
232.0	123.2	0.8	0.9	0.9		105.5	1.34	13.63	0.06	0.65	1.62	2.65	3.17	76.0				41.1	35.5	23.4	35.4	0.17	0.15	
236.0	124.8	1.4	1.4	1.4		116.1	1.42	13.79	0.10	0.66	1.63	2.60	3.04	75.3				23.3	55.7	21.0	20.7	0.32	0.15	
260.0	134.5	4.0	5.3	4.6		57.4	1.58	15.16	0.31	1.00	2.48	2.68	1.74	63.6				7.0	48.8	44.2	3.4	0.27	0.06	
262.5	135.5	1.6	2.0	1.8		63.2	1.49	15.28	0.12	0.91	2.26	2.63	1.96	66.2				10.5	40.1	49.4	2.0	0.23	0.07	
266.0	136.9	3.9	4.1	4.0		37.1	1.79	15.55	0.26	1.30	3.24	2.66	1.09	52.1				29.2	45.2	25.6	0.2	0.33	0.05	
275.0	140.5	5.0	5.4	5.2		45.2	1.68	16.15	0.32	1.16	2.87	2.48	1.20	54.5				23.5	46.7	29.8	0.7	0.42	0.05	
280.5	142.8	12.5	15.0	13.8		34.9	1.75	16.48	0.84	1.29	3.21	2.67	1.11	52.7				25.6	49.8	24.6	0.9	0.51	0.05	
284.5	144.4	12.6	16.5	14.8		37.8	1.91	16.83	0.88	1.38	3.43	2.64	0.96	48.9				28.3	45.3	26.4	0.3	0.51	0.04	
292.5	147.6	2.0	2.5	2.3		36.1	1.89	17.53	0.13	1.39	3.45	2.65	0.95	48.8				15.9	46.3	37.8				
293.5	148.0	5.1	10.2	7.7		36.1	1.89	17.62	0.43	1.39	3.45	2.65	0.95	48.8				26.4	42.4	31.2	1.3	1.03	0.08	
300.5	150.8	2.9	3.4	3.1		60.9	1.59	18.02	0.17	0.99	2.45	2.67	1.77	63.9				9.1	39.9	51.0	8.7	0.48	0.08	
302.0	151.4	5.7	15.6	10.7		47.0	1.87	18.15	0.59	1.27	3.15	2.67	1.16	53.6							8.7	0.48	0.08	
303.0	151.8	6.5	10.8	8.0		47.0	1.87	18.24	0.44	1.27	3.15													
314.5	156.5	3.5	3.5	3.5		56.3	1.64	18.96	0.18	1.05	2.05	2.66	1.60	61.6				14.3	31.3	54.4	11.1	0.39	0.06	
321.0	159.6	4.4	5.6	5.0		48.5	1.68	19.39	0.26	1.13	2.22	2.67	1.42	58.6				11.9	43.1	45.0	6.3	0.57	0.06	
324.0	161.2	3.1	3.5	3.3		61.3	1.57	19.56	0.17	0.97	1.90	2.68	1.83	64.7				10.7	35.9	53.4	12.7	0.33	0.07	
339.5	169.1	10.0	10.4	10.2		45.5	1.69	20.61	0.49	1.16	2.28	2.68	1.37	57.7				26.3	33.9	39.8	9.7	0.20	0.05	
343.0	170.9	3.9	4.8	4.3		37.6	1.53	20.79	0.21	1.11	2.18	2.69	1.48	59.6				16.9	35.4	47.8				
347.0	172.6	8.6	9.7	9.1		44.5	1.61	21.03	0.43	1.11	2.80	2.69	1.48	59.6				18.0	40.8	41.2	3.2	0.35	0.06	
351.0	174.2	3.6	3.8	3.7		59.4	1.55	21.24	0.17	0.97	2.43	2.68	1.83	64.7				19.9	37.5	42.6	10.1	0.19	0.07	
357.0	176.5	7.1	8.8	8.0		44.2	1.87	21.75	0.37	1.29	3.25	2.69	1.13	53.1				14.9	43.1	42.0	2.0	0.64	0.05	
362.0	178.5	4.0	4.7	4.3		57.3	1.68	22.08	0.20	1.07	2.67	2.64	1.54	60.6				14.6	36.0	49.4	10.0	0.22	0.05	
374.0	180.3	4.3	5.0	4.6		58.3	1.60	22.79	0.20	1.01	15.74	2.69	1.73	63.3				15.3	32.9	51.8	10.3	0.21	0.06	
384.0	180.9	3.9	7.8	5.5		56.6	1.62	23.39	0.24	1.04	16.13	2.69	1.66	62.4				11.1	32.3	56.6	13.7	0.28	0.07	
395.5	181.7	5.6	5.8	5.7		62.8	1.58	24.05	0.24	0.97	15.12	2.71	1.86	65.0				16.6	35.7	47.8	15.7	0.26	0.06	
401.0	182.0	8.5	13.8	10.4																				
405.0	182.3	6.7	8.8	7.8		46.1	1.75	24.75	0.31	1.20	18.62	2.70	1.31	56.8				13.9	38.1	48.0	1.2	0.41	0.06	
410.0	182.6					41.0	1.89	25.19	0.50	1.34	20.86	2.67	1.04	51.0				17.0	51.0	32.0	0.7	0.44	0.05	

¹⁾: Altersangaben nach Vogelsang [1990]

Tab. A.1: Sedimentphysikalische und sedimentologische Ergebnisse

Teufe (cm)	Alter ¹⁾ (*10 ³ J)	Scherfestigkeit				nat. Wasser- geh. (%)	Feucht- raum- gew. (g/cm ³)	Sedim.- auf- last (kPa)	Trocken- raum- gew. (g/cm ³)	Akku- rate g cm ² *10 ³ J	spez. Poren- Gew. ziffer (g/cm ³)	Porosi- tät (%)	Fließ- grenze (%H ₂ O)	Roll- grenze (%H ₂ O)	Plasti- zitäts- index	Sensi- tativ- tät	Sand (Gew.%)	Silt (Gew.%)	Ton (Gew.%)	CaCO ₃ (Gew.%)	C _{org} (Gew.%)	S (Gew.%)	
		min.	max.	0	hom.																		
23062-3/1, GKG/KAL-Sedimentprofil (Fortsetzung)																							
417.5	183.1	12.2	13.3	12.8		41.6	1.78	25.76	0.49	1.26	19.62	2.66	1.16	53.8			11.6	48.6	39.8	0.7	0.64	0.06	
426.5	183.7	10.6	12.6	11.6		37.4	1.82	26.48	0.44	1.33	20.65	2.66	1.06	51.4			14.7	53.1	32.2	0.5	1.28	0.10	
432.5	184.1	6.2	8.0	7.1		30.5	1.88	27.00	0.26	1.44	22.47	2.62	0.86	46.3			19.8	49.0	31.2	1.7	1.21	0.27	
440.5	184.6	5.5	5.9	5.7		28.9	1.90	27.71	0.21	1.47	22.89	2.64	0.84	45.7			19.4	48.8	31.8	2.8	1.25	0.33	
447.5	185.0	3.1	3.5	3.3		58.2	1.59	28.11	0.12	1.00	15.62	2.66	1.72	63.2			14.0	42.6	43.4	16.9	0.34	0.07	
462.5	190.1	5.1	6.3	5.7		66.0	1.59	28.97	0.20	0.95	2.43	2.65	1.84	64.8			27.1	42.3	30.6	35.3	0.24	0.08	
470.0	193.1	4.6	4.9	4.7		60.2	1.65	29.44	0.16	1.03	1.37	2.66	1.65	62.3			26.9	46.3	26.8	19.4	0.22	0.07	
496.0	222.4	5.0	8.0	6.0		60.5	1.65	31.09	0.19	1.03	1.65	2.68	1.68	62.7			18.0	41.8	40.2	8.6	0.19	0.06	
504.0	227.4	5.4	6.2	5.8		52.5	1.58	31.55	0.18	1.03	1.66	2.68	1.66	62.4			18.0	41.0	41.0	17.7	0.18	0.06	
513.5	233.2	6.0	6.4	6.2		55.9	1.67	32.17	0.19	1.07	1.75	2.66	1.55	60.8			15.7	49.9	34.4	18.7	0.16	0.06	
518.0	235.9	7.3	7.3	7.3		60.4	1.66	32.47	0.23	1.03	1.70	2.65	1.63	61.9			37.7	43.9	18.4	29.9	0.17	0.07	
522.5	238.7	5.5	5.7	5.6		66.0	1.62	32.74	0.17	0.97	1.60	2.65	1.79	64.1			15.8	43.3	41.0	9.7	0.16	0.06	
531.5	242.6	5.7	9.0	7.4		47.8	1.75	33.40	0.22	1.18	3.12	2.65	1.30	56.4			16.1	47.7	36.2	8.7	0.20	0.05	
537.0	244.7	9.5	17.9	14.0													17.4	45.8	36.8	1.9	0.18	0.04	
539.5	245.7	8.0	13.8	10.2		33.9	1.81	34.04	0.30	1.35	3.57	2.65	1.01	50.2			26.5	49.1	24.4	1.5	0.21	0.04	
544.5	247.6	11.7	14.4	13.1		31.0	1.95	34.51	0.38	1.49	3.93	2.67	0.84	45.6			13.4	33.4	53.2	8.9	0.23	0.05	
549.5	249.5	6.8	8.3	7.5		54.2	1.67	34.83	0.22	1.08	2.85	2.67	1.53	60.5			32.6	29.4	38.0	4.7	0.25	0.04	
552.0	250.4	8.9	10.6	9.8		33.6	1.81	35.03	0.28	1.36	3.59	2.65	1.00	50.0			17.2	50.8	32.0	13.9	0.16	0.08	
564.5	254.5	20.0	23.4	21.7		88.1	1.41	35.53	0.61	0.75	3.04	2.62	2.58	72.1			36.3	51.9	11.8	1.4	0.11	0.08	
567.0	255.2	18.3	23.8	21.2		80.8	1.33	35.61	0.60	0.73	2.97	2.43	2.40	70.6			14.3	30.0	55.8	8.5	0.24	0.06	
573.0	262.8	6.0	7.4	6.7		56.1	1.67	36.07	0.19	1.07	0.46	2.68	1.56	61.0			18.3	32.9	48.8	9.7	0.12	0.06	
577.5	270.1	3.8	4.7	4.3		54.5	1.71	36.38	0.12	1.11	1.07	2.68	1.48	59.7			23.2	40.0	36.8	23.2	0.19	0.05	
586.0	278.9	3.0	5.1	4.0		52.1	1.64	36.92	0.11	1.08	1.05	2.66	1.53	60.4			31.1	31.7	37.2	30.1	0.13	0.05	
607.5	301.5	4.6	5.4	4.9		55.4	1.66	37.66	0.13	1.07	0.63	2.66	1.55	60.8			31.2	39.2	29.6	35.0	0.19	0.07	
614.0	312.5	4.7	6.3	5.5		68.8	1.64	38.07	0.14	0.97	0.57	2.67	1.82	64.6			26.7	41.4	32.0	33.7	0.17	0.07	
617.5	318.4	6.7	7.1	6.9		65.9	1.55	38.26	0.18	0.94	0.55	2.64	1.89	65.4									
23063-2, GKG-Sedimentprofil																							
2.0	2.6	3.1	3.5	3.3		126.9	1.33	0.07	49.93	0.59	0.89	2.57	3.48	77.7									
4.5	4.1	4.2	4.5	4.3		112.1	1.39	0.16	27.09	0.65	0.99	2.35	2.69	72.9									
7.0	5.6	4.3	4.6	4.4		92.8	1.39	0.26	17.38	0.72	1.09	2.63	2.74	73.3									
9.5	7.1	5.1	5.2	5.2		95.9	1.44	0.36	14.15	0.74	1.12	2.51	2.49	71.3									
12.0	8.4	3.1	4.4	3.7		90.8	1.46	0.48	7.81	0.76	1.99	2.63	2.53	71.6									
14.5	9.5	2.2	2.7	2.4		92.6	1.45	0.59	4.16	0.75	1.96	2.57	2.50	71.4									
17.0	10.6	1.3	1.4	1.4		82.0	1.50	0.71	1.94	0.83	2.15	2.63	2.26	69.3									
19.5	11.7	2.8	3.2	3.0		78.3	1.48	0.83	3.56	0.83	2.17												
22.0	12.7	3.4	4.2	3.8								2.62											
24.5	13.7	1.8	2.5	2.1		68.5	1.57	0.97	2.21	0.93	5.00	2.64	1.91	65.6									
27.0	14.2	1.6	2.1	1.9		77.0	1.44	1.08	1.75	0.82	4.39	2.65	2.33	70.0									
29.5	14.7	2.2	2.5	2.3		66.6	1.57	1.22	1.93	0.94	5.06	2.65	1.89	65.4									
32.0	15.9	1.8	3.3	2.6		77.8	1.52	1.34	1.90	0.86		2.65	2.18	68.5									
34.5	17.2	1.4	2.5	1.9		62.9	1.55	1.48	1.31	0.95		2.64	1.84	64.8									

¹⁾: Altersangaben nach Vogelsang [1990]

Tab. A.1: Sedimentphysikalische und sedimentologische Ergebnisse

Teufe (cm)	Alter ¹⁾ ($\cdot 10^3$ J)	Scherfestigkeit				nat. Wasser- geh. (%)	Feucht- raum- gew. (g/cm ³)	Sedim.- auf- last (kPa)	Trocken- raum- gew. (g/cm ³)	Akku- rate — cm ³ $\cdot 10^3$ J	spez. Poren- Gew. ziffer (g/cm ³)	Poro- sität (%)	Fließ- grenze (%H ₂ O)	Roll- grenze (%H ₂ O)	Plasti- zitäts- index	Sensi- tät	Sand (Gew.%)	Silt (Gew.%)	Ton (Gew.%)	CaCO ₃ (Gew.%)	C _{org} (Gew.%)	S (Gew.%)	
		min.	max.	0	hom.																		
23064-2, GKG-Sedimentprofil																							
1.5	2.2	1.7	1.8	1.8		122.8	1.41	0.06	29.68	0.63	0.86	2.62	3.26	76.5							62.2	0.64	
4.0	3.3	3.3	3.4	3.3		103.4	1.48	0.18	18.60	0.73	0.99	2.62	2.69	72.9							55.1	0.35	
6.5	4.4	2.0	2.2	2.1		101.6	1.42	0.28	7.62	0.71	0.96	2.62	2.81	73.7							49.2	0.31	
9.0	5.6	2.1	2.2	2.2		101.7	1.45	0.39	5.60	0.72	0.98	2.62	2.73	73.2							43.6	0.31	
11.5	6.6	1.6	2.2	1.9		110.2	1.40	0.49	3.96	0.67	2.40	2.62	3.03	75.2							34.2	0.31	
14.0	7.7	2.9	2.9	2.9								2.62									21.9	0.32	
16.5	8.7	1.9	2.0	2.0		113.2	1.39	0.58	3.40	0.55	2.00	2.62	3.84	79.3									
17.5	9.2	2.5	3.7	3.1		113.2	1.39	0.62	4.91	0.65	2.35	2.62	3.11	75.7									
18.5	9.6	2.4	2.8	2.6								2.62									13.7	0.27	
21.0	10.6	1.0	1.1	1.1		85.5	1.49	0.74	1.44	0.80	2.90	2.62	2.34	70.0							10.8	0.26	
23.5	11.7	1.1	1.1	1.1		79.3	1.52	0.87	1.29	0.85	3.04	2.62	2.18	68.5							11.1	0.28	
26.0	12.8	1.2	1.4	1.3		73.9	1.57	1.01	1.32	0.90	3.24	2.62	1.98	66.4							11.2	0.28	
28.5	13.8	1.0	1.0	1.0		80.2	1.55	1.15	0.89	0.86	2.65	2.62	2.12	68.0							12.1	0.24	
31.0	14.6	1.2	1.2	1.2		68.3	1.59	1.29	0.95	0.95	2.92	2.62	1.83	64.7							11.8	0.26	
33.5	15.8	1.0	1.6	1.3		77.7	1.55	1.42	0.93	0.87		2.62	2.07	67.5							13.2	0.20	
36.0	17.0	1.3	1.3	1.3								2.62									12.7	0.20	
23065-2/3, GKG/KAL-Sedimentprofil																							
2.0	3.5	2.7	2.9	2.8		112.1	1.42	0.08	33.79	0.67	1.05	2.61	3.01	75.1			42.6	44.6	12.8	61.5	0.61	0.10	
4.5	5.1	2.6	2.7	2.6	0.5	100.4	1.47	0.20	13.24	0.73	1.15	2.61	2.65	72.6			41.9	39.1	19.0				
7.0	6.7	2.8	2.9	2.8		101.2	1.47	0.31	9.01	0.73	1.14	2.63	2.70	73.0			41.0	43.2	15.8	50.3	0.37	0.10	
9.5	8.3	1.8	2.2	2.0	0.5	100.1	1.46	0.42	4.80	0.73	1.15	2.61	2.65	72.6			32.0	44.4	23.6	49.7	0.29	0.09	
12.0	8.9	0.8	1.4	1.1								2.60					32.0	44.4	23.6				
14.5	9.3	1.6	1.7	1.7	0.4	109.5	1.41	0.53	3.19	0.67	4.50	2.62	2.98	74.9			30.5	45.5	24.0	38.7	0.27	0.10	
17.0	9.6	2.4	2.6	2.5	0.4	94.6	1.47	0.64	3.82	0.76	5.05	2.64	2.57	72.0			17.0	40.0	43.0	10.1	0.25	0.07	
19.5	10.0	0.9	0.9	0.9	0.5	77.0	1.54	0.77	1.19	0.87	5.81	2.63	2.10	67.7			35.9	34.7	29.4	13.0	0.24	0.06	
22.0	11.5	1.0	1.3	1.2		66.3	1.67	0.94	1.25	1.00	1.43	2.64	1.70	63.0			19.6	40.4	40.0	12.2	0.29	0.05	
24.5	13.2	0.7	1.0	0.9		86.4	1.48	1.05	0.82	0.79	2.44	2.64	2.42	70.7			14.7	34.7	50.6	11.6	0.25	0.05	
27.0	14.2	1.1	1.3	1.2		73.4	1.57	1.19	1.03	0.91	2.79	2.65	2.00	66.7			17.2	38.4	44.4	15.7	0.17	0.06	
29.5	15.2	1.7	1.7	1.7	0.8	61.9	1.63	1.35	1.28	1.01	1.92	2.63	1.67	62.6			20.8	37.8	41.4	11.7	0.28	0.06	
32.0	16.5	1.3	1.3	1.3	0.7	75.0	1.57	1.49	0.89	0.90	1.70	2.64	2.02	66.9			21.6	36.4	42.0				
34.5	17.8	1.4	1.8	1.6		71.3	1.59	1.63	1.00	0.93	1.77	2.65	1.92	65.8			10.2	47.8	42.0				
37.0	19.1	1.6	1.9	1.8													10.2	47.8	42.0				
39.5	20.4	1.4	1.5	1.5	0.7	82.6	1.53	1.76	0.84	0.84	1.59	2.63	2.23	69.0			9.5	43.1	47.4				
42.0	21.7	1.3	1.4	1.4	0.7	68.7	1.60	1.91	0.72	0.95	1.80	2.59	1.80	64.3			24.6	51.2	24.2				
42.5*	22.0	1.5	1.8	1.7		69.0	1.61	1.94	0.87	0.95	1.81	2.68	1.88	65.3			18.3	38.7	43.0	14.8	0.30	0.07	
46.5*	24.1	1.6	1.8	1.7	1.2	78.2	1.54	2.15	0.81	0.86	1.64	2.58	2.06	67.4			11.6	45.2	43.2	16.0	0.26	0.07	
52.0*	27.0	1.7	1.8	1.8		63.6	1.68	2.52	0.71	1.03	3.29	2.67	1.66	62.5			11.5	39.9	48.6	13.8	0.19	0.06	
71.0*	32.9	2.0	2.0	2.0		64.5	1.62	3.67	0.56	0.98	3.15								12.5	0.20	0.05		
80.0*	35.7	1.9	1.9	1.9	0.8	78.1	1.55	4.15	0.47	0.87	2.78	2.66	2.14	68.1			18.1	39.7	42.2	11.2	0.20	0.07	
95.0*	40.4	2.8	3.0	2.9	1.1	52.0	1.65	5.11	0.56	1.09	3.48	2.66	1.51	60.1			24.3	41.3	34.4	10.0	0.16	0.04	
99.5*	41.8					58.9	1.65	5.40	1.04	1.04	3.33	2.65	1.61	61.7			46.2	43.0	10.8	16.7	0.20	0.06	
133.0*	52.3	6.0	7.8	6.9																			
136.0*	53.3	5.9	6.4	6.2	2.8	40.3	1.81	5.64	1.09	1.29	4.13	2.65	1.10	52.5			17.4	53.8	28.8	0.8	0.50	0.05	

¹⁾: Altersangaben nach Vogelsang [1990]; *: korrigierte Teufe

Tab. A.1: Sedimentphysikalische und sedimentologische Ergebnisse

Teufe (cm)	Alter ¹⁾ (*10 ³ J)	Scherfestigkeit				nat. Wasser- geh. (%)	Feucht- raum- gew. (g/cm ³)	Sedim.- auf- last (kPa)	Trocken- raum- gew. (g/cm ³)	Akku- rate g cm ² *10 ³ J	spez. Poren- Gew. ziffer (g/cm ³)	Poro- sität (%)	Fließ- grenze (%H ₂ O)	Roll- grenze (%H ₂ O)	Plasti- zitäts- index	Sensi- tivi- tät	Sand (Gew.%)	Silt (Gew.%)	Ton (Gew.%)	CaCO ₃ (Gew.%)	C _{org} (Gew.%)	S (Gew.%)	
		min.	max.	0	hom.																		
23065-2/3, GKG/KAL-Sedimentprofil (Fortsetzung)																							
143.0*	55.4	2.9	3.7	3.3		63.0	1.61	6.05	0.54	0.99	0.31	2.67	1.78	64.0				12.9	39.5	47.6	7.1	0.24	0.04
162.5*	73.6	3.1	3.7	3.4	1.1	63.4	1.61	7.23	0.47	0.99	1.94	2.63	1.73	63.4				25.6	49.8	24.6	23.3	0.18	0.05
168.5*	76.7	4.1	4.2	4.1	0.7	70.9	1.50	7.52	0.55	0.88	1.73	2.67	2.11	67.8				29.4	46.4	24.2	42.0	0.23	0.06
186.0*	104.3	2.4	2.9	2.6	1.0	51.1	1.69	8.72	0.30	1.12	3.10	2.64	1.41	58.5				25.5	46.7	27.8	22.0	0.17	0.03
193.5*	107.0	2.6	4.2	3.4		81.2	1.52	9.10	0.37	0.84	2.31										38.9	0.27	0.06
206.0*	112.3	5.2	6.4	5.8		64.2	1.62	9.86	0.59	0.99	1.28										31.2	0.18	0.05
213.5*	118.1	3.9	4.8	4.3	0.5	91.0	1.46	10.20	0.42	0.76	0.98	2.59	2.48	71.3				28.4	38.8	32.8	49.6	0.20	0.07
219.0*	122.4	3.4	3.6	3.5		83.3	1.51	10.47	0.33	0.82	2.82	2.57	2.20	68.8				11.2	48.7	40.2	33.7	0.16	0.06
228.0*	125.0	2.6	3.3	2.9	0.6	112.7	1.37	10.79	0.27	0.64	1.52	2.64	3.22	76.3				23.0	46.2	30.8	37.7	0.24	0.09
233.0*	127.1	3.7	3.7	3.7	0.6	130.7	1.34	10.96	0.33	0.58	1.38	2.65	3.67	78.6				28.1	53.7	18.2	24.6	0.23	0.09
241.0*	130.5	4.1	4.3	4.2	1.3	54.7	1.67	11.49	0.36	1.08	2.56	2.67	1.53	60.5				20.5	41.7	37.8	11.3	0.12	0.04
248.0*	133.4	7.3	8.2	7.8																			
250.0*	134.3	3.8	3.8	3.8		53.9	1.70	11.62	0.32	1.10	2.62	2.65	1.46	59.4				13.9	43.3	42.8	15.2	0.10	0.04
257.0*	137.2	8.2	9.0	8.6	2.6	55.4	1.66	12.08	0.71	1.07	2.53	2.66	1.56	60.9				9.5	45.1	45.4	7.2	0.36	0.03
264.0*	140.2	16.7	17.9	17.3	3.3	35.2	1.82	12.64	1.37	1.35	3.19	2.66	1.03	50.7				26.4	49.6	24.0	0.3	0.45	0.03
271.5*	143.4	12.3	12.8	12.5		41.8	1.74	13.18	0.95	1.23	2.91										0.4	0.43	0.04
279.0*	146.5	11.9	12.2	12.1	3.1	38.1	1.86	13.81	0.87	1.34	3.19	2.63	1.00	50.1				27.1	49.3	23.6	0.7	0.63	0.04
284.5*	148.9	4.0	8.5	5.5	1.1	63.1	1.64	14.16	0.39	1.01	2.38	2.66	1.71	63.1				15.1	44.5	40.4	16.3	0.32	0.06
291.0*	151.6	11.7	13.6	12.6	3.7	48.1	1.75	14.64	0.86	1.18	2.80	2.67	1.31	56.8				12.5	53.1	34.4	2.2	0.68	0.05
299.5*	155.2	8.4	9.3	8.8	3.7	42.3	1.84	15.34	0.57	1.30	3.07	2.64	1.09	52.1				13.8	51.8	34.4	3.1	0.68	0.06
304.0*	157.1	4.5	4.5	4.5	1.2	59.0	1.65	15.63	0.29	1.04	2.10	2.67	1.64	62.2				15.6	41.0	43.4	14.2	0.33	0.05
308.5*	159.3	6.9	11.6	9.3	4.2	45.0	1.75	15.96	0.59	1.21	2.45	2.65	1.25	55.5				12.7	49.1	38.2	4.4	0.62	0.05
312.5*	161.3	4.8	4.8	4.8	1.5	56.1	1.63	16.21	0.30	1.05	2.13	2.66	1.60	61.6				19.1	42.5	38.4	15.1	0.28	0.06
324.0*	166.9	11.8	12.6	12.2	5.3	36.5						2.66						27.8	47.2	25.0	0.2	0.43	0.03
333.5*	171.5	5.7	6.5	6.1	2.5	43.1	1.75	16.91	0.36	1.22	4.69	2.65	1.22	54.9				26.3	42.5	31.2	8.8		0.04
338.0*	172.7	4.7	5.8	5.3	1.8	52.6	1.68	17.21	0.31	1.10	4.22	2.67	1.48	59.7				19.1	46.7	34.2	12.7	0.20	0.04
341.0*	173.5	8.6	9.0	8.8																			
346.0*	174.8	9.5	10.2	9.8	3.9	49.1	1.73	17.56	0.56	1.16	4.44	2.64	1.34	57.2				17.4	50.0	32.6	1.6	0.41	0.05
351.5*	176.2	9.2	9.6	9.4	4.2	41.8	1.76	17.97	0.52	1.24	4.75	2.66	1.20	54.5				19.7	43.5	36.8	6.2	0.28	0.04
355.0*	177.1	5.3	5.7	5.5	1.5	65.0	1.64	18.19	0.30	0.99	3.80	2.67	1.76	63.7				12.2	46.6	41.2	10.2	0.31	0.05
358.0*	177.9	10.5	11.8	11.2																			
360.5*	178.5	4.7	11.1	7.9	2.0	54.1	1.62	18.34	0.43	1.05	4.02	2.67	1.61	61.6				15.2	38.8	46.0	12.5	0.23	0.04
374.5*	180.4	4.6	5.6	5.1	1.2	65.5	1.58	19.14	0.27	0.95	14.33	2.67	1.87	65.1				17.9	30.9	51.2	21.0	0.23	0.06
380.5*	180.8	7.0	8.0	7.5	2.5	57.1	1.60	19.49	0.38	1.02	15.28	2.68	1.70	63.0				14.8	35.0	50.2	11.1	0.22	0.05
391.0*	181.5	4.7	6.4	5.5	1.2	62.6	1.63	20.14	0.27	1.00	15.10	2.66	1.71	63.1				22.0	43.4	34.6	23.2	0.21	0.06
400.0*	182.0	4.3	8.7	6.5	2.3	42.5	1.75	20.81	0.31	1.23	18.46	2.69	1.24	55.4				14.5	44.5	41.0	2.7	0.41	0.04
405.5*	182.4	5.9	7.4	6.7	1.4	56.4	1.53	21.09	0.32	0.98	14.67	2.70	1.83	64.7				16.0	40.3	43.8	10.7	0.32	0.05
413.5*	183.0	11.4	13.2	12.3		42.0	1.86	21.77	0.56	1.31	19.69	2.67	1.09	52.1				16.1	48.1	35.8	0.9	0.53	0.05
422.0*	183.5	12.4	19.2	15.6	4.7	38.9	1.69	22.34	0.70	1.22	18.28	2.68	1.26	55.7				17.2	53.9	29.0	1.2	0.68	0.05
428.5*	184.0	22.3	26.3	24.3		38.2	1.66	22.76	1.07	1.20	18.07	2.68	1.28	56.2				18.6	49.4	32.0	1.1	0.94	0.13
434.5*	184.4	5.1	6.2	5.6		31.7	1.88	23.28	0.24	1.43	21.44	2.62	0.88	46.9				18.5	50.2	31.4	3.4	1.13	0.32
441.5*	184.8	7.0	7.4	7.2		30.6	1.90	23.90	0.30	1.45	21.84	2.64	0.86	46.3				18.9	54.0	27.2	3.7	1.12	0.31
449.0*	185.8	3.2	3.6	3.4	1.1	65.5	1.61	24.35	0.14	0.98	3.35	2.67	1.80	64.3				12.3	40.1	47.6	15.0	0.33	0.07
457.0*	188.1	3.2	4.5	3.8	1.0	63.0	1.53	24.77	0.15	0.94	3.22	2.67	1.91	65.7				33.1	31.9	35.0	28.3	0.24	0.06
474.5*	193.4	6.0	6.8	6.4		61.4	1.65	25.88	0.25	1.02	1.36	2.67	1.68	62.7				28.0	43.0	29.0	32.0	0.22	0.06

¹⁾: Altersangaben nach Vogelsang [1990]; *: korrigierte Teufe

Tab. A.1: Sedimentphysikalische und sedimentologische Ergebnisse

Teufe (cm)	Alter ¹⁾ (*10 ³ J)	Scherfestigkeit				nat. Wasser- geh. (%)	Feucht- raum- gew. (g/cm ³)	Sedim.- auf- last (kPa)	Trocken- raum- gew. (g/cm ³)	Akku.- rate g cm ² *10 ³ J	spez. Poren- Gew. ziffer (g/cm ³)	Poros- ität (%)	Fließ- grenze (%H ₂ O)	Roll- grenze (%H ₂ O)	Plasti- zitäts- index	Sensi- tät	Sand (Gew.%)	Silt (Gew.%)	Ton (Gew.%)	CaCO ₃ (Gew.%)	C _{org} (Gew.%)	S (Gew.%)
		min.	max.	0	hom.																	
23065-2/3, GKG/KAL-Sedimentprofil (Fortsetzung)																						
482.0*	199.1	4.5	5.5	5.0	0.9	68.2	1.68	26.38	0.19	1.00	1.33	2.66	1.73	63.4			26.8	43.8	29.4	26.9	0.23	0.06
494.0*	215.5	7.9	8.1	8.0	1.2	66.4	1.61	27.10	0.29	0.97	0.65	2.67	1.82	64.6			23.8	43.8	32.4	14.4	0.21	0.05
502.0*	225.5	5.1	5.3	5.2		60.1	1.62	27.59	0.19	1.01	0.81	2.67	1.70	62.9			19.5	40.7	39.8	16.7	0.18	0.05
507.5*	231.5	5.1	5.3	5.2		58.0	1.64	27.93	0.19	1.04	1.02	2.66	1.63	62.0			24.0	42.0	34.0	17.6	0.16	0.05
515.5*	239.7	5.7	6.2	6.0	1.1	82.2	1.55	28.36	0.21	0.85	1.15	2.65	2.20	68.7			25.7	26.7	47.6	38.5	0.18	0.07
535.0*	253.6	6.4	6.6	6.5	2.2	49.4	1.70	29.70	0.22	1.14	1.55	2.67	1.40	58.4			22.6	45.0	32.4	11.5	0.22	0.04
544.5*	255.2	15.9	16.6	16.3	6.9	33.1	1.90	30.54	0.53	1.43	8.65	2.68	0.93	48.1			24.1	54.2	21.8	0.5	0.27	0.03
548.5*	255.8	5.7	6.0	5.8	3.1	50.5	1.68	30.81	0.19	1.12	1.45	2.68	1.46	59.3			23.2	48.4	28.4	14.8	0.19	0.04
554.0*	259.8	4.3	6.4	5.3	1.2	70.9	1.57	31.11	0.17	0.92	1.19	2.67	1.98	66.4			18.7	47.5	33.8	19.9	0.20	0.05
558.0*	262.8	4.0	6.4	5.2	1.4	70.1	1.57	31.34	0.17	0.92	1.20	2.66	1.96	66.2			36.6	37.4	26.0	16.9	0.18	0.06
562.5*	266.3	9.6	10.0	9.8		85.6	1.49	31.55	0.31	0.80	1.04	2.66	2.40	70.5			14.9	47.1	38.0	13.7	0.17	0.07
571.0*	272.5	7.4	8.1	7.8	1.4	64.2	1.63	32.08	0.24	0.99	1.39	2.67	1.76	63.8			16.2	25.8	58.0	7.2	0.18	0.05
576.0*	276.0	5.1	6.2	5.6	2.3	54.3	1.66	32.40	0.17	1.08	1.51	2.69	1.56	61.0			13.4	42.2	44.4	10.2	0.17	0.04
583.0*	281.0	5.1	5.1	5.1		50.7	1.70	32.88	0.16	1.13	1.58	2.68	1.44	59.0			24.5	49.5	26.0	26.1	0.12	0.04
592.5*	287.8	5.1	6.0	5.5	1.3	65.3	1.58	33.42	0.17	0.96	0.98	2.66	1.84	64.8			27.1	45.7	27.2	26.4	0.19	0.05
598.0*	293.1	6.4	8.1	7.2	1.8	58.1	1.69	33.80	0.21	1.07	1.09	2.67	1.56	61.0			25.9	46.3	27.8	22.2	0.21	0.04
608.5*	308.9	7.2	9.6	8.4		57.3	1.64	34.46	0.24	1.04	0.73	2.67	1.62	61.8			39.2	37.9	23.0	33.3	0.17	0.04
615.5*	319.3	8.3	8.9	8.6	1.2	63.6	1.66	34.91	0.25	1.01	0.71	2.66	1.69	62.8			38.6	38.3	23.2	35.6	0.17	0.05
626.0*	323.7	7.2	8.7	8.0		82.2	1.50	35.43	0.22	0.83	2.25								44.5	0.18	0.07	
631.5*	325.7	4.5	6.6	5.5	0.8	106.2	1.43	35.66	0.15	0.70	1.90	2.67	2.94	74.6			31.0	44.0	25.0	18.7	0.23	0.09
637.0*	327.7	12.3	13.2	12.7		77.5			0.67	1.82									2.2	0.16	0.08	
645.5*	330.8	9.8	14.4	11.9	0.8	42.8	1.74	36.28	0.33	1.22	1.99	2.65	1.22	55.0			16.9	59.9	23.2	1.2	0.18	0.05
653.0*	335.3	11.1	15.5	14.0	5.1	43.6	1.79	36.87	0.38	1.25	2.03	2.66	1.19	54.3			15.0	51.4	33.6			
659.0*	339.0	16.1	18.9	17.5		49.1	1.73	37.29	0.47	1.16	8.70	2.67	1.36	57.6			12.6	55.0	32.4	1.0	0.31	0.04
664.0*	339.7	17.4	17.4	17.4	5.2	42.4	1.71	37.64	0.46	1.20	9.01	2.65	1.26	55.8			14.6	58.6	26.8	0.8	0.41	0.05
669.0*	340.3	6.0	6.4	6.2		62.0	1.61	37.94	0.16	0.99	7.45	2.69	1.77	63.9			6.2	44.8	49.0	3.0	0.23	0.05
674.0*	341.0	13.6	15.5	14.8	5.1	46.0	1.75	38.31	0.39	1.20	1.59	2.66	1.27	56.0			12.9	55.1	32.0	1.1	0.35	0.04
679.0*	344.7	11.3	12.8	12.0																		
680.5*	345.8	7.2	7.7	7.4																		
686.0*	350.0	13.2	29.1	21.2	5.7	29.4	1.90	38.79	0.55	1.47	1.95	2.67	0.87	46.5			29.9	51.5	18.6	0.2	0.23	0.03
689.0*	352.2	6.6	7.4	7.0	3.5	53.8	1.70	39.00	0.18	1.11	1.47	2.67	1.47	59.5			12.4	50.6	37.0	1.5	0.34	0.05
693.0*	355.2	19.3	20.8	20.1																		
702.0*	362.0	8.9	9.1	9.0	3.3	51.5	1.71	39.63	0.23	1.13	1.50	2.68	1.43	58.8			12.2	40.8	47.0	4.7	0.27	0.04
708.5*	366.9	15.7	17.0	16.4	5.6	49.0	1.75	40.11	0.41	1.17	1.56	2.66	1.32	56.9			15.4	54.8	29.8	1.3	0.43	0.05
712.5*	369.9	10.8	11.3	11.0	2.8	54.7	1.67	40.37	0.27	1.08		2.67	1.54	60.6			18.5	48.3	33.2	6.7		0.04
716.5*	372.9	15.3	16.8	16.0	5.7	43.2	1.82	40.69	0.39	1.27		2.66	1.15	53.4			15.7	54.7	29.6	0.4	0.63	0.05
23066-2, GKG-Sedimentprofil																						
2.0	2.2	2.1	2.2	2.2		143.6	1.36	0.07	31.02	0.56	3.35	2.62	3.81	79.2								
4.5	2.6	3.0	3.2	3.1		139.6	1.37	0.16	18.97	0.57	3.42	2.62	3.71	78.8								
7.0	3.0	2.2	2.6	2.4		139.5	1.35	0.25	9.69	0.56	3.38	2.62	3.77	79.0								
9.5	3.4	1.8	1.9	1.9		138.2	1.37	0.34	5.59	0.58	3.45	2.62	3.67	78.6								
12.0	3.8	1.5	2.1	1.8		137.4	1.39	0.43	4.23	0.58	3.51	2.62	3.60	78.2								
14.5	4.2	1.2	1.7	1.5		142.5	1.34	0.52	2.85	0.55	3.31	2.62	3.87	79.5								

¹⁾: Altersangaben nach Vogelsang [1990]; *: korrigierte Teufe

Tab. A.1: Sedimentphysikalische und sedimentologische Ergebnisse

Teufe (cm)	Alter ¹⁾ (*10 ³ J)	Scherfestigkeit				nat. Wasser- geh. (%)	Feucht- raum- gew. (g/cm ³)	Sedim.- auf- last (kPa)	Trocken- raum- gew. (g/cm ³)	Akku.- rate $\frac{g}{cm^2 \cdot 10^3 J}$	spez. Poren- Gew. ziffer (g/cm ³)	Poros- ität (%)	Fließ- grenze (%H ₂ O)	Roll- grenze (%H ₂ O)	Plasti- zitäts- index	Sensi- tativ- tät	Sand (Gew.%)	Silt (Gew.%)	Ton (Gew.%)	CaCO ₃ (Gew.%)	C _{org} (Gew.%)	S (Gew.%)	
		min.	max.	0	hom.																		
23066-2, GKG-Sedimentprofil (Fortsetzung)																							
17.0	4.7	1.4	1.6	1.5	144.3	1.34	0.60	2.55	0.55	3.29	2.62	3.90	79.6										
19.5	5.1	0.9	1.1	1.0							2.62												
22.0	5.5	1.1	1.6	1.4	136.5	1.37	0.69	1.99	0.58	3.48	2.62	3.63	78.4										
24.5	5.9	1.2	1.4	1.3	118.8	1.40	0.79	1.68	0.64	3.85	2.62	3.19	76.1										
27.0	6.5	1.5	1.6	1.6	79.5	1.56	0.93	1.71	0.87		2.62	2.09	67.6										
29.0	7.1	1.2	2.2	1.7	108.2	1.44	1.01	1.71	0.68		2.62	2.95	74.7										
31.5	7.7	1.5	1.5	1.5	148.8	1.33	1.09	1.40	0.54		2.62	4.01	80.1										
34.0	8.4	1.7	1.9	1.8	141.5	1.34	1.18	1.56	0.56		2.62	3.83	79.3										
36.5	9.1	2.0	2.0	2.0	152.5	1.34	1.26	1.62	0.53		2.62	4.07	80.3										
39.0	9.7	1.6	1.6	1.6	121.0	1.41	1.36	1.20	0.64		2.62	3.20	76.2										
23067-2, GKG-Sedimentprofil																							
2.0	2.1	2.6	2.7	2.6	150.3	1.32	0.06	41.27	0.53	3.27	2.62	4.09	80.4										
4.5	2.5	2.6	3.6	3.1	143.8	1.33	0.14	21.25	0.55	3.39	2.62	3.92	79.7										
7.0	2.9	3.3	3.3	3.3	142.4	1.36	0.23	14.05	0.56	3.47	2.62	3.79	79.1										
9.5	3.3	2.4	2.7	2.5	149.8	1.33	0.31	7.99	0.53	3.30	2.62	4.05	80.2										
12.0	3.7	2.2	2.7	2.4	143.6	1.33	0.39	6.21	0.55	3.38	2.62	3.93	79.7										
14.5	4.1	2.0	2.5	2.2	135.0	1.38	0.49	4.61	0.59	3.64	2.62	3.57	78.1										
17.0	4.5	2.4	2.4	2.4	137.5	1.37	0.58	4.07	0.58	3.58	2.62	3.65	78.5										
19.5	4.8	2.1	2.4	2.2	140.6	1.35	0.66	3.38	0.56	3.49	2.62	3.77	79.1										
22.0	5.2	2.2	2.4	2.3	140.6	1.35	0.75	3.06	0.56	3.49	2.62	3.77	79.1										
24.5	5.6	2.0	2.1	2.1	132.3	1.38	0.84	2.48	0.59	3.68	2.62	3.52	77.9										
27.0	6.0	2.0	2.1	2.1	130.9	1.37	0.93	2.24	0.59	3.67	2.62	3.54	78.0										
29.5	6.4	2.0	2.0	2.0	108.0	1.43	1.04	1.96	0.69	4.27	2.62	2.90	74.4										
33.0	6.9	3.1	5.1	4.1	40.0	1.75	1.30	3.15	1.25	7.73	2.62	1.15	53.6										
35.5	7.3	2.5	3.1	2.8	43.6	1.78	1.49	1.85	1.24	7.69	2.62	1.16	53.8										
38.0	7.7	3.2	3.6	3.4	51.2	1.68	1.65	2.03	1.11	6.88	2.62	1.42	58.7										
23068-2/3, GKG/KAL-Sedimentprofil																							
2.0	2.2	2.1	2.2	2.2	138.6	1.37	0.07	30.40	0.57	2.09	2.57	3.60	78.2	103.9	46.6	57.3		13.4	64.1	22.6	42.0	0.81	0.12
4.5	3.0	2.7	3.0	2.8	134.0	1.37	0.16	17.17	0.59	2.14	2.59	3.53	77.9					11.6	61.4	27.0	38.9	0.72	0.12
7.0	3.6	2.8	3.5	3.1	126.2	1.38	0.26	12.17	0.61	2.21	2.60	3.38	77.2					11.7	65.7	22.6	37.4	0.51	0.11
10.0	4.5	2.9	3.0	2.9	128.7	1.37	0.36	7.97	0.60	2.18	2.52	3.31	76.8					14.7	65.8	19.6	34.4	0.49	0.11
12.5	5.2	2.2	2.4	2.3	109.2	1.25	0.43	5.38	0.60	2.18	2.57	3.39	77.2					16.7	56.7	26.6	31.8	0.43	0.10
15.0	5.8	2.0	2.0	2.0	129.7	1.39	0.52	3.91	0.60	2.20	2.63	3.47	77.6	91.5	31.9	59.6		10.3	59.9	29.8	28.7	0.38	0.10
17.5	6.5	2.1	2.2	2.2	126.3	1.37	0.61	3.58	0.61	2.20	2.62	3.44	77.5					6.9	62.1	31.0	23.6	0.37	0.10
20.0	7.2	1.6	1.9	1.8	125.1	1.39	0.71	2.52	0.62	2.25	2.65	3.40	77.3					9.4	58.9	31.8	20.6	0.36	0.12
22.5	7.9	1.3	2.0	1.7																			0.09
25.0	8.6	0.7	1.4	1.1	120.9	1.41	0.81	1.32	0.64	4.27	2.62	3.20	76.2					11.7	58.5	29.8	17.7	0.30	0.08
27.5	8.9	2.5	2.8	2.6	113.6	1.40	0.91	2.86	0.66	4.39	2.62	3.08	75.5					15.5	61.7	22.8	17.0	0.31	0.07
30.0	9.3	1.2	2.5	1.8	99.8	1.44	1.02	1.80	0.72	4.81	2.63	2.74	73.2	80.1	26.5	53.6		16.7	56.1	27.2	15.0	0.31	0.07
35.0*	10.1	4.9	5.4	5.1	99.8	1.44	1.23	4.17	0.72		2.63	2.74	73.2					16.7	56.1	27.2	15.0	0.31	0.09
36.5*	10.4	11.6	11.9	11.8	97.0	1.41	1.29	8.96	0.72	3.88	2.61	2.74	73.3	79.8	26.1	53.7		15.4	48.1	36.6	10.8	0.32	0.09

¹⁾: Altersangaben nach Vogelsang [1990]; *: korrigierte Teufe

Tab. A.1: Sedimentphysikalische und sedimentologische Ergebnisse

Teufe (cm)	Alter ¹⁾ (*10 ³ J)	Scherfestigkeit				nat. Wasser- geh. (%)	Feucht- raum- gew. (g/cm ³)	Sedim.- auf- last (kPa)	Trocken- raum- gew. (g/cm ³)	Akku- rate g cm ² *10 ³ J	spez. Poren- Gew. ziffer (g/cm ³)	Poros- ität (%)	Fließ- grenze (%H ₂ O)	Roll- grenze (%H ₂ O)	Plasti- zitäts- index	Sensi- tät	Sand (Gew.%)	Silt (Gew.%)	Ton (Gew.%)	CaCO ₃ (Gew.%)	C _{org} (Gew.%)	S (Gew.%)	
		min.	max.	0	hom.																		
23068-2/3, GKG/KAL-Sedimentprofil (Fortsetzung)																							
50.0*	12.9	2.5	4.9	3.4		67.3	1.60	2.09	1.56	0.96	5.20	2.68	1.86	65.1	62.0	22.4	39.6	11.7	43.9	44.4	12.7	0.23	0.06
60.5*	14.8	2.1	2.4	2.2		69.7	1.61	2.72	0.80	0.95	4.27	2.68	1.90	65.6				13.7	42.7	43.6	12.4	0.20	0.05
74.5*	17.9	2.1	2.2	2.2		65.0	1.60	3.54	0.60	0.97	4.38	2.67	1.82	64.5	46.2	17.6	28.6	25.3	43.7	31.0	13.2	0.20	0.05
93.0*	22.0	2.7	2.7	2.7		66.2	1.65	4.72	0.55	0.99	4.48	2.68	1.77	63.9				14.4	47.2	38.4	11.5	0.23	0.05
113.0*	26.4	3.1	3.3	3.2		71.8	1.64	5.97	0.52	0.95	4.30	2.68	1.88	65.3	57.1	22.4	34.7	3.3	40.3	56.4	12.5	0.25	0.06
162.0*	37.3	3.0	3.0	3.0		99.4	1.93	10.44	0.28	0.97	4.37	2.68	1.84	64.7	53.4	20.3	33.1	12.8	52.0	35.2	13.2	0.24	0.05
183.0*	41.9	2.2	4.2	3.1		59.7	1.67	11.82	0.26	1.04	4.71	2.68	1.63	62.0	54.0	21.0	33.0	14.7	47.1	38.2	13.3	0.19	0.05
193.5*	44.3	3.6	4.6	4.1		48.3	1.72	12.56	0.32	1.16	5.24	2.66	1.35	57.4	38.9	19.0	19.9	47.1	36.1	16.8	18.5	0.15	0.03
210.0*	47.9	4.2	4.9	4.5		75.2	1.62	13.57	0.33	0.93	4.18	2.68	1.97	66.3	64.2	21.6	42.6	9.4	47.8	42.8	2.8	0.28	0.07
220.5*	50.2	8.2	8.9	8.5		44.0	1.76	14.36	0.59	1.22	5.52	2.66	1.23	55.1	43.5	18.3	25.2	17.7	52.7	29.6	1.2	0.46	0.06
224.0*	51.0	7.0	9.7	8.4		43.7	1.68	14.59	0.57	1.17	5.26	2.65	1.33	57.1				20.0	53.0	27.0	0.2	0.59	0.05
233.0*	53.0	17.8	18.8	18.4		33.9	1.76	15.26	1.20	1.31	5.92	2.66	1.08	51.9	45.9	19.4	26.5	31.3	47.9	20.8	0.5	1.14	0.08
239.0*	54.3	5.5	6.1	5.8		32.8	1.80	15.73	0.37	1.36	6.12	2.64	0.99	49.8				16.7	53.3	30.0	1.3	1.09	0.28
249.5*	59.0	3.5	3.7	3.6		72.0	1.59	16.34	0.22	0.93	1.43	2.68	1.97	66.3	56.3	22.3	34.0	7.0	45.4	47.6	10.2	0.35	0.06
262.0*	66.6	4.3	4.3	4.3		58.7	1.66	17.14	0.25	1.04	2.20	2.69	1.64	62.2				17.3	45.9	36.8	12.6	0.25	0.05
270.0*	70.4	4.6	5.1	4.8		81.0	1.57	17.59	0.27	0.87	1.83	2.66	2.14	68.1	60.8	23.5	37.3	16.6	49.6	33.8	22.1	0.26	0.06
277.0*	73.8	4.8	5.4	5.1		68.2	1.62	18.01	0.28	0.96	2.03	2.67	1.85	64.9				30.1	46.3	23.6	32.4	0.22	0.07
284.0*	77.1	3.8	4.9	4.3		59.6	1.69	18.49	0.23	1.06	2.24	2.68	1.59	61.4	45.4	22.9	22.5	41.9	35.1	23.0	44.9	0.17	0.05
296.0*	83.3	4.9	5.1	5.0		86.6	1.50	19.08	0.26	0.80	1.45	2.70	2.44	71.0				25.4	46.0	28.6	26.0	0.31	0.07
304.0*	87.7	4.6	4.9	4.7		64.3	1.59	19.54	0.24	0.97	1.76	2.67	1.82	64.5				24.4	53.6	22.0	19.2	0.19	0.05
313.0*	93.1	5.8	7.6	6.7		84.3	1.43	19.92	0.33	0.78	1.20	2.66	2.51	71.5	73.2	24.4	48.8	32.6	53.6	13.8	36.2	0.20	0.06
314.5*	94.1	5.8	6.4	6.1		84.2	1.48	19.99	0.30	0.80	1.24	2.67	2.40	70.6				32.6	53.6	13.8	36.2	0.20	0.06
334.5*	110.2	4.8	4.9	4.8		69.3	1.59	21.16	0.23	0.94	1.63	2.67	1.91	65.6				31.8	46.4	21.8	31.9	0.18	0.07
343.5*	115.7	5.7	6.5	6.1		112.2	1.42	21.53	0.28	0.67	1.16	2.67	3.09	75.5				16.4	61.0	22.6	37.2	0.19	0.10
354.5*	122.1	4.3	4.8	4.5		111.5	1.38	21.94	0.21	0.65	3.99	2.68	3.20	76.2	94.9	30.4	64.5	5.7	54.1	40.2	25.8	0.20	0.09
364.0*	123.8	5.8	7.0	6.4		114.3	1.39	22.31	0.29	0.65	3.97	2.68	3.23	76.3				21.7	59.9	18.4	20.7	0.20	0.09
371.0*	125.0	4.6	6.4	5.6		50.4	1.52	22.66	0.25	1.01	4.80	2.67	1.71	63.1				23.0	46.6	30.4	6.5	0.13	0.05
378.5*	126.6	5.2	5.7	5.5		47.8	1.69	23.17	0.23	1.14	5.42	2.68	1.41	58.5	49.8	16.6	33.2	17.9	42.5	39.6	7.0	0.14	0.04
393.5*	129.7	5.1	5.2	5.2		49.2	1.69	24.19	0.21	1.14	5.40	2.67	1.41	58.5				12.1	49.4	38.6	11.5	0.13	0.04
400.5*	131.2	9.8	10.8	10.3			1.65	24.64	0.42														
403.0*	131.7	5.7	6.6	6.2		47.0	1.60	24.79	0.25	1.09	5.19	2.69	1.53	60.4				10.8	48.2	41.0	14.0	0.16	0.06
410.5*	133.3	7.2	8.1	7.6		42.0	1.67	25.28	0.30	1.17	5.57	2.69	1.35	57.5	53.8	17.9	35.9	12.7	47.1	40.2	14.9	0.16	0.04
417.5*	134.8	10.4	13.8	12.1		43.8	1.71	25.76	0.47	1.19	6.67	2.69	1.32	57.0				9.8	52.6	37.6	6.3	0.50	0.04
428.5*	136.8	6.2	6.8	6.5		66.7	1.53	26.33	0.25	0.91	5.14	2.70	2.02	66.9	71.5	24.9	46.6	4.4	50.0	45.6	12.2	0.30	0.06
434.5*	137.9	20.2	20.6	20.4		38.7	1.87	26.84	0.76	1.35	7.59	2.66	1.02	50.5	44.8	18.1	26.7	21.4	49.8	28.8	0.7	1.06	0.05
447.0*	140.1	8.3	8.3	8.3		29.0	1.92	27.96	0.30	1.48	8.35	2.59	0.79	44.1	36.0	14.9	21.1	27.2	47.0	25.8	2.5	1.16	0.29
453.0*	141.1	9.8	10.8	10.3		27.4	1.97	28.54	0.36	1.55	3.53	2.63	0.74	42.5	34.9	15.8	19.1	28.5	51.3	20.2	2.7	1.19	0.26
462.0*	144.8	6.2	6.6	6.4		29.3	1.86	29.29	0.22	1.44	3.27	2.66	0.90	47.3	35.5	15.8	19.6	25.8	50.6	23.6	3.8	0.97	0.37
469.0*	147.9	4.1	5.1	4.6		57.3	1.63	29.72	0.15	1.04	2.36	2.67	1.64	62.2				15.5	54.9	29.6	16.1	0.36	0.08
489.0*	156.7	4.7	5.3	5.0		67.2	1.51	30.73	0.16	0.90	2.06	2.67	2.03	67.0	69.6	25.4	44.2	6.3	53.8	40.0	12.4	0.42	0.06
497.0*	158.3	10.4	10.8	10.6		36.3	1.74	31.31	0.34	1.28	7.17	2.56	1.05	51.3	41.9	18.1	23.8	13.7	48.9	37.4	1.6	0.83	0.07
508.0*	160.3	4.7	6.4	5.5		60.0	1.63	32.00	0.17	1.02	5.73	2.67	1.68	62.7	57.9	24.4	33.5	5.9	47.1	47.0	13.7	0.33	0.06
515.0*	161.6	8.3	12.3	9.9		43.3	1.74	32.50	0.30	1.21	6.80	2.67	1.26	55.7	53.2	19.5	33.7	13.5	55.7	30.8	4.1	0.54	0.06
531.0*	164.4	4.9	6.4	5.6		60.0	1.60	33.44	0.17	1.00	5.62	2.68	1.74	63.6	54.5	20.8	33.7	14.9	44.7	40.4	11.1	0.27	0.06
539.0*	165.8	6.6	9.1	7.9		52.6	1.59	33.91	0.23	1.04	5.86	2.69	1.64	62.1				6.5	45.2	48.4	8.2	0.23	0.05

¹⁾: Altersangaben nach Vogelsang [1990]; *: korrigierte Teufe

Tab. A.1: Sedimentphysikalische und sedimentologische Ergebnisse

Teufe (cm)	Alter ¹⁾ (*10 ³ J)	Scherfestigkeit				nat. Wasser- geh. (%)	Feucht- raum- gew. (g/cm ³)	Sedim.- auf- last (kPa)	Trocken- raum- gew. (g/cm ³)	Akku.- rate g cm ² *10 ³ J	spez. Poren- Gew. ziffer (g/cm ³)	Porosi- tät (%)	Fließ- grenze (%H ₂ O)	Roll- grenze (%H ₂ O)	Plasti- zitäts- index	Sensi- tativ- tät	Sand (Gew.%)	Silt (Gew.%)	Ton (Gew.%)	CaCO ₃ (Gew.%)	C _{org} (Gew.%)	S (Gew.%)	
		min.	max.	0	hom.																		
23068-3/3. GKG/KAL-Sedimentprofil (Fortsetzung)																							
546.0*	167.1	10.8	17.8	13.8		29.0	1.79	34.45	0.40	1.39	7.79	2.65	0.96	48.9	45.3	17.7	27.5	23.0	47.0	30.0	0.2	0.40	0.03
553.0*	168.3	11.3	12.5	11.9		34.1	1.86	35.04	0.34	1.39	7.79	2.60	0.92	47.9	38.1	16.9	21.2	26.6	51.6	21.8	0.2	0.88	0.05
563.0*	170.1	6.6	6.6	6.6		21.5	1.80	35.83	0.18	1.48	8.32	2.62	0.81	44.8	32.3	14.1	18.3	35.4	43.6	21.0	1.2	1.31	0.12
570.0*	171.4	5.5	5.5	5.5		47.2	1.70	36.31	0.15	1.16	5.39	2.67	1.37	57.8	40.2	16.9	23.3	24.2	38.6	37.2	10.6	0.25	0.04
582.0*	173.9	8.1	9.4	8.7		44.2	1.74	37.19	0.23	1.21	5.65	2.66	1.25	55.6				16.3	57.7	26.0	3.6	0.43	0.03
590.5*	175.8	9.8	10.2	10.0		40.1	1.78	37.84	0.26	1.27	5.95	2.68	1.16	53.6				18.4	56.2	25.4	1.5	0.42	0.04
604.0*	178.7	4.9	4.9	4.9		53.3	1.63	38.67	0.13	1.06	4.97										13.7	0.26	0.05
611.0*	180.0	4.7	4.7	4.7		54.1	1.67	39.13	0.12	1.08	8.91				51.2	19.9	31.3				10.7	0.23	0.05
635.5*	182.9	5.1	6.8	6.0		59.5	1.64	40.67	0.15	1.03	8.48	2.69	1.68	62.7				15.7	39.9	44.4	15.7	0.21	0.05
644.0*	184.0	8.7	10.2	9.5		44.7	1.62	41.19	0.23	1.12	9.22	2.68	1.46	59.3	53.5	20.9	32.6	14.9	44.2	41.0	4.0	0.54	0.05
663.0*	186.3	6.8	7.2	7.0		65.3	1.55	42.20	0.17	0.94		2.67	1.93	65.8				26.2	45.4	28.4	12.5	0.25	0.05
667.5*	186.8	7.7	8.9	8.3		62.4	1.55	42.45	0.19	0.95		2.70	1.90	65.5	60.7	23.4	37.3	12.1	45.6	42.4	24.1	0.27	0.05
681.0*	188.5	5.7	6.2	6.0		65.0	1.56	43.19	0.14	0.95										8.1	0.27	0.06	
688.5*	189.4	11.9	14.7	13.3		46.2	1.78	43.76	0.30	1.22		2.68	1.26	55.7	49.6	20.8	28.8	14.6	44.4	41.0	7.2	0.29	0.05
696.0*	190.3	10.0	10.7	10.4		65.7	1.60	44.20	0.23	0.96		2.70	1.87	65.2				12.5	51.1	36.4	2.3	0.54	0.04
23069-2. GKG-Sedimentprofil																							
2.5	2.2	2.1	2.2	2.2		151.4	1.33	0.08	27.04	0.53	3.33	2.62	4.08	80.3									
5.0	2.6	2.7	2.7	2.7		142.1	1.34	0.16	16.56	0.55	3.48	2.62	3.86	79.4									
7.5	3.0	2.7	3.1	2.9		139.3	1.35	1.04	2.75	0.56	3.55	2.62	3.76	79.0									
10.0	3.4	2.1	2.5	2.3		144.3	1.37	1.13	2.03	0.56	3.52	2.62	3.80	79.2									
12.5	3.8	1.6	1.9	1.8		146.9	1.34	1.21	1.48	0.54	3.42	2.62	3.95	79.8									
15.0	4.1	1.6	2.0	1.8		149.1	1.35	1.30	1.41	0.54	3.42	2.62	3.95	79.8									
16.0	4.3	0.9	1.8	1.4		149.1	1.35	1.33	1.04	0.54	3.42	2.62	3.95	79.8									
17.5	4.5	1.8	1.8	1.8		148.7	1.33	1.38	1.33	0.53	3.37	2.62	4.02	80.1									
20.0	4.9	2.4	2.5	2.4		141.5	1.35	1.47	1.63	0.56	3.53	2.62	3.79	79.1									
22.5	5.3	1.6	2.2	1.9		141.5	1.35	1.55	1.25	0.56	3.53	2.62	3.79	79.1									
25.0	5.7	1.8	1.9	1.9		144.7	1.35	1.64	1.15	0.55	3.48	2.62	3.85	79.4									
27.0	6.0	1.8	1.8	1.8		146.1	1.37	1.71	1.08	0.56	3.51	2.62	3.82	79.3									
30.0	6.5	1.6	1.7	1.7		141.7	1.37	1.82	0.92	0.57	3.56	2.62	3.75	78.9									
32.5	6.8	1.6	1.6	1.6		136.5	1.36	1.91	0.85	0.58	3.63	2.62	3.66	78.5									
35.0	7.2	1.5	1.8	1.7		126.9	1.25	1.97	0.86	0.55	3.47	2.62	3.88	79.5									
39.0	7.8	1.5	2.0	1.8		136.4	1.37	2.12	0.84	0.58	3.66	2.62	3.62	78.3									
23070-2. GKG-Sedimentprofil																							
2.5	2.2	1.4	1.6	1.5		154.7	1.34	0.08	4.78	0.53	3.42	2.62	4.11	80.4									
5.0	2.6	1.5	1.8	1.7		160.8	1.30	0.16	4.33	0.50	3.23	2.62	4.40	81.5									
7.5	3.0	1.6	2.0	1.8		156.3	1.33	0.24	3.83	0.52	3.37	2.62	4.18	80.7									
10.0	3.4	1.7	1.8	1.8		152.8	1.32	0.32	3.38	0.52	3.39	2.62	4.15	80.6									
12.5	3.8	2.0	2.2	2.1		151.3	1.32	0.39	3.82	0.52	3.41	2.62	4.12	80.5									
15.0	4.1	1.6	2.4	2.0		149.4	1.34	0.48	3.11	0.54	3.48	2.62	4.01	80.0									
16.5	4.4	1.9	1.9	1.9		149.4	1.34	0.53	2.73	0.54	3.48	2.62	4.01	80.0									
17.5	4.5	1.6	1.8	1.7		147.0	1.34	0.56	2.18	0.54	3.53	2.62	3.94	79.8									

¹⁾: Altersangaben nach Vogelsang [1990]; *: korrigierte Teufe

Tab. A.1: Sedimentphysikalische und sedimentologische Ergebnisse

Tiefe (cm)	Alter ¹⁾ (*10 ³ J)	Scherfestigkeit				nat. Wasser- geh. (%)	Feucht- raum- gew. (g/cm ³)	Sedim.- auf- last (kPa)	Trocken- raum- gew. (g/cm ³)	Akku- rate $\frac{g}{cm^2 \cdot 10^{-3} J}$	spez. Poren- Gew. ziffer (g/cm ³)	Porosi- tät (%)	Fließ- grenze (%H ₂ O)	Roll- grenze (%H ₂ O)	Plasti- zitäts- index	Sensi- tät	Sand (Gew.%)	Silt (Gew.%)	Ton (Gew.%)	CaCO ₃ (Gew.%)	C _{org} (Gew.%)	S (Gew.%)			
		min.	max.	0	hom.																				
23070-2, GKG-Sedimentprofil (Fortsetzung)																									
20.0	4.9	1.2	1.4	1.3		150.8	1.31	0.64	1.49	0.52	3.39	2.62	4.15	80.6											
22.5	5.3	1.4	1.8	1.6		150.8	1.31	0.71	1.69	0.52	3.39	2.62	4.15	80.6											
25.0	5.7	1.1	1.6	1.4		150.7	1.35	0.80	1.38	0.54	3.50	2.62	3.99	80.0											
27.5	6.1	1.2	1.5	1.4		141.6	1.37	0.89	1.33	0.57	3.68	2.62	3.75	78.9											
30.0	6.5	2.9	3.4	3.1		151.9	1.33	0.97		0.53	3.43	2.62	4.08	80.3											
31.0	6.6	1.3	5.0	3.2		161.1	1.28	1.00	2.68	0.49	3.19	2.62	4.47	81.7											
32.5	6.8	1.7	4.6	3.7		161.1	1.28	1.04	2.94	0.49	3.19	2.62	4.47	81.7											
35.0	7.2	1.4	1.6	1.5								2.62													
37.5	7.6	1.0	1.4	1.2		170.2	1.28	1.18		0.47	3.08	2.62	4.67	82.3											
40.0	8.1	1.2	1.4	1.3		170.5	1.31	1.25		0.48	3.15	2.62	4.55	82.0											
23071-2/3, GKG/KAL-Sedimentprofil																									
2.0	5.3	1.3	1.3	1.3	0.5	143.9	1.40	0.08	16.63	0.57	6.80	2.61	3.68	78.6	103.3	36.3	67.0	2.9	9.3	48.0	42.8	27.7	0.78	0.14	
4.5	5.6	1.9	2.0	2.0	1.1	131.9	1.36	0.17	11.81	0.59	7.04	2.61	3.56	78.1				1.9	8.0	47.8	44.2	29.1	0.72	0.11	
7.0	5.8	1.8	2.0	1.9	1.1	117.8	1.48	0.29	6.74	0.68	8.11	2.61	2.93	74.5				1.8	8.7	47.3	44.0	29.5	0.69	0.11	
9.5	6.1	2.4	2.6	2.5	1.1	120.9	1.41	0.39	6.34	0.64	7.64	2.61	3.20	76.2				2.3	8.2	54.6	37.2	26.6	0.64	0.13	
12.0	6.4	2.4	2.4	2.4	1.1	116.9	1.39	0.48	4.88	0.64	7.04	2.63	3.22	76.3	89.5	28.5	61.0	2.2	7.7	67.5	24.8	24.2	0.56	0.11	
14.5	6.6	1.9	2.6	2.2	1.2	107.6	1.43	0.59	3.83	0.69	7.02	2.66	2.97	74.8				1.8	2.9	49.9	47.2	13.8	0.52	0.09	
17.0	6.9	1.7	2.9	2.3	0.9	116.6	1.41	0.69	3.33	0.65	6.66	2.64	3.15	75.9				2.4	9.2	46.2	44.6	14.2	0.51	0.10	
19.5	7.1	1.5	1.8	1.7	0.8	129.0	1.34	0.77	2.19	0.59	6.00	2.63	3.59	78.2				2.2	2.3	54.3	43.4	12.6	0.56	0.08	
22.0	7.4	1.6	1.6	1.6	0.9	165.8	1.30	0.85	1.93	0.49	5.02	2.66	4.55	82.0				1.9	1.9	61.6	36.6	12.7	0.75	0.10	
22.5	7.4	2.2	3.1	2.7	0.9	165.8	1.30	0.86	3.08	0.00		2.66						3.0	1.9	61.6	36.6	12.7	0.75	0.10	
25.0	7.7	3.2	3.4	3.3	0.9	159.9	1.31	0.94	3.48	0.50	5.15	2.64	4.37	81.4				3.5	1.8	59.7	38.6	12.0	0.76	0.15	
27.5	7.9	1.7	1.9	1.8	0.7	159.5	1.34	1.02	1.80	0.52	5.27	2.61	4.18	80.7				2.8	2.1	65.5	32.4	12.7	0.78	0.13	
30.0	8.1	1.7	2.1	1.9	0.6	161.2	1.32	1.10	1.76	0.50	5.16	2.61	4.30	81.1				3.4	2.4	56.6	41.0	12.7	0.81	0.13	
32.5	8.4	1.5	1.9	1.7	0.3	150.5	1.32	1.18	1.48	0.53	5.37	2.60	4.08	80.3	106.2	32.4	73.8	5.8	2.3	50.7	47.0	11.2	0.90	0.15	
35.0	8.6	1.6	1.7	1.7																					
38.0	8.9	1.1	1.7	1.4	0.6	163.2	1.34	1.27	1.12	0.51	5.19	2.60	4.25	80.9				2.5	2.2	56.6	41.2	9.7	0.97	0.15	
51.5*	10.2	11.8	19.8	15.6	1.1	64.5	1.61	2.08	7.53	0.98	9.97	2.63	1.76	63.8	53.0	20.4	32.6	14.3	23.5	25.6	51.0	5.1			
60.0*	11.1	2.9	4.2	3.5	0.4	116.7	1.39	2.40	1.47	0.64	6.54	2.64	3.23	76.4				8.0	4.5	56.8	38.8	4.6	0.50	0.12	
72.0*	12.3	1.6	2.4	2.0	0.6	74.1	1.49	2.97	0.67	0.85	8.73	2.67	2.20	68.8	51.9	19.8	32.0	3.4	10.6	60.6	28.8	10.1	0.34	0.07	
78.0*	13.0	10.4	15.6	12.8	1.2	56.3	1.64	3.35	3.82	1.05	6.98	2.67	1.61	61.7	48.1	19.3	28.7	10.9	13.8	47.0	39.2	6.2	0.69	0.05	
82.5*	13.6	3.8	4.7	4.2	0.8	69.5	1.52	3.58	1.18	0.90	5.99	2.67	2.05	67.2				5.2	13.4	39.8	46.8	11.0	0.32	0.06	
93.5*	14.8	3.6	4.3	3.9	1.2	66.7	1.57	4.19	0.94	0.94	10.18	2.67	1.90	65.5	54.7	19.8	34.9	3.3	14.8	41.4	43.8	10.0	0.32	0.05	
100.5*	15.5	3.2	7.1	5.7	3.1	58.3	1.60	4.60	1.24	1.01	10.91	2.68	1.72	63.2	55.1	18.5	36.6	1.9	12.5	54.9	32.6	9.2	0.25	0.05	
112.0*	16.5	1.7	1.8	1.8	1.1	77.1	1.55	5.22	0.34	0.87	24.97	2.67	2.13	68.1				1.6	9.5	69.5	21.0	12.7	0.38	0.08	
120.5*	17.0	3.1	3.5	3.3	1.2							2.69							2.7	4.8	54.8	40.4		0.75	0.10
128.5*	17.6	2.8	3.0	2.9	0.8	74.2	1.57	5.67	0.50	0.90	11.79	2.70	2.07	67.4				3.5	4.9	54.3	40.8	12.1	0.33	0.03	
132.0*	17.9	3.3	3.5	3.4	0.7	57.1	1.51	5.85	0.58	0.96	12.56	2.68	1.86	65.0				4.7	16.1	54.7	29.2	10.6	0.29	0.05	
139.5*	18.5	1.8	2.0	1.9	1.3	73.7	1.54	6.24	0.31	0.89	32.82	2.68	2.10	67.7				1.4	10.7	52.5	36.8	13.7	0.36	0.06	
141.5*	18.6	1.2	1.7	1.5	0.9	73.2	1.62	6.36	0.23	0.94	34.67	2.64	1.89	65.4	52.8	20.8	32.1	1.6	6.7	51.9	41.4	10.9	0.30	0.05	
150.5*	18.9	3.7	4.0	3.8	0.8	69.0	1.58	6.87	0.56	0.93	7.08	2.72	1.99	66.5				4.6	5.6	29.9	64.6	10.7	0.29	0.07	
154.5*	19.4	2.6	2.8	2.7	0.9	48.4	1.51	7.07	0.37	1.02	7.70	2.69	1.71	63.2				3.0	13.9	34.3	51.8	11.9	0.25	0.03	
161.5*	20.3	1.5	1.8	1.7	0.8	68.6	1.57	7.47	0.23	0.93	7.07	2.69	1.96	66.2				2.3	11.3	43.7	45.0	11.4	0.28	0.04	

¹⁾: Altersangaben nach Vogelsang [1990]; *: korrigierte Teufe

Tab. A.1: Sedimentphysikalische und sedimentologische Ergebnisse

Teufe (cm)	Alter ¹⁾ (*10 ³ J)	Scherfestigkeit				nat. Wasser- geh. (%)	Feucht- raum- gew. (g/cm ³)	Sedim.- auf- last (kPa)	Trocken- raum- gew. (g/cm ³)	Akku- rate g cm ² *10 ³ J	spez. Poren- Gew. ziffer (g/cm ³)	Poro- sität (%)	Fließ- grenze (%H ₂ O)	Roll- grenze (%H ₂ O)	Plasti- zitäts- index	Sensi- tät	Sand (Gew.%)	Silt (Gew.%)	Ton (Gew.%)	CaCO ₃ (Gew.%)	C _{org} (Gew.%)	S (Gew.%)
		min.	max.	0	hom.																	
23071-2/3, GKG/KAL-Sedimentprofil (Fortsetzung)																						
181.0*	22.1	2.8	3.5	3.1	0.9	64.0	1.55	8.52	0.37	0.95	16.45	2.70	1.93	65.8		3.4	7.8	52.4	39.8	11.9	0.26	0.04
191.5*	22.7	4.0	4.6	4.3	1.0	58.7	1.60	9.14	0.47	1.01	17.51	2.70	1.75	63.6		4.5	5.5	34.5	60.0	12.3	0.25	0.04
198.0*	23.0	6.7	6.9	6.8	1.3	60.9	1.63	9.54	0.72	1.01	17.62	2.69	1.72	63.3	53.9	5.3	6.6	58.6	34.8	10.9	0.27	0.04
208.5*	23.6	2.9	3.5	3.2	1.2	51.7	1.63	10.19	0.31	1.08	18.71	2.69	1.56	61.0		2.6	12.4	35.1	52.6	10.8	0.29	0.05
262.0*	27.3	6.0	9.3	7.4	1.3	64.0	1.61	13.37	0.55	0.98	14.40	2.70	1.82	64.6	59.2	5.7	5.0	53.4	41.6	7.3	0.29	0.06
272.5*	28.0	3.7	4.1	3.9	1.0	69.5	1.56	13.95	0.28	0.92	4.78	2.69	1.99	66.6		4.0	5.7	60.9	33.4	12.0	0.34	0.06
290.0*	31.3	3.7	6.9	5.3	1.6	61.0	1.63	15.03	0.35	1.01	5.23	2.68	1.72	63.2	48.6	3.3	13.5	58.1	28.4	10.1	0.31	0.05
310.5*	35.3	5.7	6.3	6.0	1.2	77.2	1.58	16.18	0.37	0.89	4.61	2.67	2.08	67.5	66.3	4.9	9.5	31.5	59.0	7.6	0.34	0.05
333.0*	39.6	4.3	6.8	5.5	1.2	65.5	1.63	17.58	0.31	0.99	10.42	2.69	1.79	64.2	53.6	4.7	7.1	26.1	66.8	9.2	0.25	0.04
343.0*	40.5	7.6	10.0	8.6	1.4	68.1	1.56	18.13	0.48	0.93	9.78	2.69	1.98	66.4		6.3	6.9	45.5	47.6	13.2	0.27	0.06
353.5*	41.5	4.6	5.2	4.9	0.9	66.1	1.60	18.74	0.26	0.96	10.16	2.68	1.86	65.0	62.7	5.3	13.4	44.4	42.2	12.4	0.44	0.04
364.0*	42.5	5.9	6.1	6.0	1.0	100.3	1.47	19.22	0.31	0.73	7.73	2.68	2.75	73.4		5.8	3.5	57.9	38.6	7.7	0.47	0.07
371.5*	43.2	5.5	5.6	5.6	1.2	64.5	1.62	19.68	0.28	0.99	10.41	2.67	1.78	64.0	56.5	4.8	12.2	57.3	30.6	11.3	0.39	0.04
383.0*	44.3	5.4	5.7	5.6	1.1	84.5	1.44	20.17	0.28	0.78	8.24	2.67	2.51	71.5		4.9	7.2	56.0	36.8	7.2	0.39	0.06
391.5*	45.1	4.7	6.1	5.4	1.1	58.3	1.61	20.69	0.26	1.02	10.77	2.70	1.71	63.1	60.3	4.7	12.2	55.8	32.0	14.4	0.27	0.05
406.0*	46.5	5.6	7.2	6.4	1.3	79.8	1.54	21.45	0.30	0.86	9.04	2.68	2.21	68.8		4.8	6.3	58.9	34.8	8.7	0.40	0.08
414.0*	47.3	6.0	6.1	6.1	1.1	78.0	1.48	21.83	0.28	0.83	8.78	2.69	2.32	69.9		5.6	9.2	59.2	31.6	6.4	0.33	0.06
425.5*	48.4	6.4	6.4	6.4	1.1	59.5	1.59	22.49	0.29	0.99	10.50	2.68	1.76	63.8	59.3	6.0	11.7	54.7	33.6	8.5	0.30	0.06
432.0*	49.0	5.0	5.3	5.2	1.0	76.9	1.52	22.82	0.23	0.86	9.07	2.68	2.20	68.7		5.0	5.9	33.3	60.8	6.3	0.46	0.08
444.5*	50.2	4.7	5.5	5.1	1.3	62.3	1.63	23.59	0.22	1.00	4.22	2.68	1.74	63.5		4.0	9.6	35.6	54.8	5.8	0.55	0.07
452.5*	52.0	11.5	15.0	13.3	3.1	46.2	1.75	24.18	0.55	1.20	5.04	2.66	1.27	56.0	44.1	3.1	17.0	34.8	48.2	0.6	0.95	0.06
457.5*	53.2	7.6	8.6	8.1	5.3	31.5	1.80	24.58	0.33	1.37	5.76	2.65	0.98	49.5		1.5	19.4	53.8	26.8	2.7	1.12	0.24
466.5*	55.3	5.4	5.7	5.6	2.9	34.9	1.77	25.26	0.22	1.31	1.75	2.68	1.09	52.2		1.9	14.5	37.7	47.8	4.5	1.02	0.25
475.0*	61.5	5.1	6.0	5.6	1.6	57.8	1.61	25.77	0.22	1.02	1.36	2.71	1.72	63.2	51.5	3.4	11.4	32.2	56.4	12.2	0.26	0.05
484.5*	66.4	6.5	6.6	6.6	1.7	56.6	1.63	26.35	0.25	1.04	4.08	2.71	1.68	62.6		4.0	14.1	31.7	54.2	13.2	0.25	0.05
496.0*	69.3	8.0	9.4	8.7	1.4	57.4	1.61	27.04	0.32	1.02	4.01	2.71	1.72	63.2	51.9	6.2	15.4	31.4	53.2	16.7	0.27	0.05
505.5*	71.7	7.4	8.1	7.8	1.1	68.7	1.57	27.57	0.28	0.93	3.66	2.70	1.97	66.3		7.1	11.5	31.7	56.8	22.0	0.22	0.06
516.0*	74.4	9.2	11.2	10.1	1.6	63.6	1.55	28.14	0.36	0.95	3.73	2.70	1.92	65.7	58.7	6.2	16.3	31.7	52.0	25.2	0.23	0.05
525.5*	76.8	4.1	5.5	4.6	1.2	73.5	1.53	28.63	0.16	0.88	0.63	2.70	2.15	68.2	66.2	3.8	23.5	45.7	30.8	40.1	0.22	0.06
536.0*	79.4	6.1	6.8	6.5	1.4	71.3	1.49	29.13	0.22	0.87	0.62	2.70	2.19	68.6		4.6	19.1	51.5	29.4	33.6	0.26	0.07
543.5*	89.8	10.4	10.4	10.4	1.7	66.6	1.49	29.49	0.35	0.90	2.21	2.70	2.09	67.6	61.3	6.3	16.3	62.1	21.6	17.5	0.22	0.06
553.0*	94.2	6.5	7.1	6.8	1.3	66.2	1.59	30.04	0.23	0.95	2.35	2.70	1.90	65.5	59.3	5.4	15.7	64.9	19.4	14.2	0.17	0.06
562.0*	97.8	5.3	6.9	6.1	2.2	52.8	1.62	30.58	0.20	1.06	2.61	2.70	1.61	61.7		2.8	16.7	63.1	20.2	15.3	0.23	0.05
576.0*	103.5	7.9	10.0	8.6	1.1	86.1	1.46	31.22	0.28	0.79	2.82	2.70	2.53	71.6	78.3	8.1	13.7	75.1	11.2	26.2	0.24	0.07
584.0*	105.8	7.9	8.4	8.1	1.1	82.7	1.46	31.58	0.26	0.80	2.87	2.68	2.44	70.9		7.6	13.9	68.1	18.0	21.0	0.27	0.07
598.0*	109.7	6.3	7.1	6.7	1.1	76.2	1.49	32.24	0.21	0.84	3.03	2.67	2.25	69.2	68.6	5.9	10.7	60.3	29.0	16.4	0.27	0.06
607.0*	112.3	6.9	7.8	7.3	1.4	75.0	1.51	32.69	0.22	0.86	2.83	2.68	2.18	68.6	71.7	5.3	13.8	50.6	35.6	21.6	0.25	0.07
618.0*	115.7	9.0	9.3	9.1	1.1	76.9	1.48	33.21	0.27	0.84	2.75	2.68	2.28	69.5		8.4	8.9	39.7	51.4	24.2	0.47	0.08
626.0*	118.1	7.7	8.2	7.9	1.8	88.0	1.46	33.58	0.24	0.78	2.55	2.68	2.53	71.7		4.4	5.2	35.2	59.6	30.5	0.34	0.10
644.0*	122.9	6.3	7.1	6.7	1.4	78.9	1.51	34.47	0.20	0.84	6.42	2.68	2.26	69.3	68.7	5.0	7.2	59.6	33.2	11.1	0.52	0.09
653.0*	124.1	6.1	6.3	6.2	2.0	46.4	1.69	35.09	0.18	1.16	8.82	2.66	1.36	57.6		3.2	29.7	27.9	42.4	6.2	0.27	0.05
663.5*	125.9	9.5	10.1	9.8	2.4	37.9	1.83	35.94	0.27	1.33	5.25	2.67	1.06	51.5	40.4	4.1	24.9	43.7	31.4	8.9	0.27	0.05
671.5*	127.9	7.4	9.1	8.3	2.9	39.6	1.78	36.55	0.23	1.27	5.04	2.67	1.15	53.5		2.9	23.5	44.3	32.2	11.5	0.27	0.05
682.5*	130.7	8.1	9.4	8.7	2.4	51.7	1.64	37.23	0.23	1.08	4.27	2.70	1.56	61.0		3.7	14.5	40.1	45.4	12.7	0.24	0.04
692.0*	133.1	5.5	5.8	5.7	2.2	44.8	1.75	37.93	0.15	1.21		2.68	1.27	56.0	42.5	2.5	17.0	36.2	46.8	15.2	0.25	0.05

¹⁾: Altersangaben nach Vogelsang [1990]; *: korrigierte Teufe

Tab. A.1: Sedimentphysikalische und sedimentologische Ergebnisse

Teufe (cm)	Alter ¹⁾ (*10 ³ J)	Scherfestigkeit				nat. Wasser- geh. (%)	Feucht- raum- gew. (g/cm ³)	Sedim.- auf- last (kPa)	Trocken- raum- gew. (g/cm ³)	Akku.- rate g cm ² *10 ³ J	spez. Poren- Gew. ziffer (g/cm ³)	Porosi- tät (%)	Fließ- grenze (%H ₂ O)	Roll- grenze (%H ₂ O)	Plasti- zitäts- index	Sensi- tät	Sand (Gew.%)	Silt (Gew.%)	Ton (Gew.%)	CaCO ₃ (Gew.%)	C _{org} (Gew.%)	S (Gew.%)	
		min. (kPa)	max. (kPa)	0 (kPa)	hom. (kPa)																		
23071-2/3, GKG/KAL-Sedimentprofil (Fortsetzung)																							
704.0*	136.1	7.1	8.5	7.8	2.5	57.7	1.64	38.68	0.20	1.04	2.69	1.66	62.4			3.2	6.6	47.8	45.6	18.1	0.31	0.05	
711.5*	138.0	8.6	15.1	11.7	4.1	32.8	1.73	39.22	0.30	1.30	2.68	1.11	52.6	49.6	18.7	30.9	2.8	9.1	47.5	43.4	6.0	0.74	0.14
722.5*	140.8	7.0	7.7	7.4	2.4	60.8	1.63	39.90	0.18	1.01	2.69	1.72	63.3	57.7	20.8	36.9	3.1	6.9	39.5	53.6	14.2	0.36	0.05
732.0*	143.2	10.9	17.5	13.7	11.0	27.8	1.88	40.72	0.34	1.47	2.65	0.84	45.8	37.3	15.1	22.1	1.2	23.6	49.0	27.4	4.2	1.01	0.23
738.5*	144.8	11.3	12.1	11.7	8.0	26.1	1.93	41.31	0.28	1.53	2.66	0.79	44.0			1.5	27.8	46.0	26.2	3.3	1.01	0.25	
747.0*	147.0	12.1	14.9	13.5	7.7	26.2	1.90	42.06	0.32	1.51	2.66	0.81	44.8	35.3	14.7	20.7	1.8	25.3	35.5	39.2	4.9	0.85	0.33
23072-2, GKG-Sedimentprofil																							
2.0	5.1	1.3	1.3	1.3		135.8	1.35	0.07	19.28	0.57	4.45	2.62	3.67	78.6						30.4	0.84	0.21	
4.0	5.4	3.2	3.2	3.2						0.61		2.62	3.43	77.5						28.7	0.74	0.19	
6.5	5.7	2.2	2.2	2.2		117.0	1.41	0.25	8.96	0.65	5.07	2.62	3.14	75.8						24.5	0.60	0.16	
9.0	6.0	3.1	3.8	3.4		89.1	1.47	0.36	9.49	0.78	6.08	2.62	2.44	71.0						8.5	0.40	0.13	
11.5	6.3	5.6	7.0	6.3		89.1	1.47	0.48	13.18	0.78	6.08	2.62	2.44	71.0									
14.0	6.6	8.5	10.9	9.7		67.5	1.64	0.64	15.13	0.98	7.64	2.62	1.74	63.4						5.2	0.34	0.12	
16.5	6.9	8.5	8.5	8.5								2.62											
19.0	7.2	1.9	2.4	2.1		80.3	1.55	0.77	2.79	0.86	6.71	2.62	2.13	68.1						6.2	0.41	0.13	
21.5	7.5	1.9	2.4	2.1		92.5	1.48	0.89	2.41	0.77	6.01	2.62	2.50	71.4						5.7	0.43	0.15	
24.0	7.8	1.6	1.8	1.7		119.3	1.41	0.99	1.75	0.64	4.99	2.62	3.17	76.0						3.8	0.54	0.15	
26.5	8.1	1.4	1.5	1.5		111.7	1.42	1.09	1.36	0.67	5.23	2.62	2.99	74.9						5.1	0.52	0.16	
29.0	8.4	1.2	1.3	1.3		114.4	1.42	1.20	1.06	0.66	5.15	2.62	3.05	75.3						7.5	0.60	0.17	
31.5	8.7	1.3	1.5	1.4		119.7	1.41	1.30	1.10	0.64	4.99	2.62	3.20	76.2						7.7	0.65	0.16	
34.0	9.0	1.3	1.5	1.4		119.7	1.41	1.40	1.02	0.64	4.99	2.62	3.19	76.1						8.4	0.58	0.17	
36.5	9.3	1.3	1.5	1.4		114.8	1.42	1.50	0.95	0.66	5.15	2.62	3.05	75.3						7.2	0.56	0.14	
39.0	9.6	1.5	1.7	1.6		104.6	1.42	1.60	1.02	0.69	5.38	2.62	2.87	74.2									
40.5	9.8	0.8	1.0	0.9		104.6	1.42	1.66	0.55	0.69	5.38	2.62	2.87	74.2									
23074-1, KAL-Sedimentprofil																							
28.0*	10.2	2.2	2.2	2.2		101.1	1.47	1.29	1.74	0.71	20.79	2.59	2.72	73.1			1.0	35.8	63.2	9.75	0.80	0.12	
73.0*	10.8	1.6	1.6	1.6		98.1	1.41	3.10	0.53	0.66	19.27	2.64	3.09	75.6			0.9	11.1	88.0	9.41	0.77	0.20	
96.0*	11.0	4.4	4.7	4.5		67.9	1.58	4.41	1.03	0.94	27.45	2.67	1.91	65.6			9.2	24.6	66.2	10.08	0.55	0.09	
102.5*	11.6	5.7	14.9	10.3		55.5	1.59	4.78	2.15	1.02	29.81	2.65	1.65	62.3			14.5	31.9	53.6	4.16	0.68	0.06	
114.0*	12.8	3.1	4.2	3.6		81.5	1.53	5.38	0.67	0.84	24.48	2.66	2.24	69.2			11.3	21.3	67.4	11.08	0.37	0.07	
122.0*	13.6	11.2	11.8	11.5		49.9	1.47	5.75	2.00	0.98	43.79	2.64	1.76	63.7			13.2	20.2	66.6	3.92	0.73	0.07	
186.5*	15.5	2.2	2.2	2.2		62.7	1.61	9.61	0.23	0.99	11.47	2.65	1.74	63.5			11.6	33.0	55.4	10.91	0.53	0.14	
238.5*	20.0	4.0	4.0	4.0		78.6	1.56	12.46	0.32	0.87	10.08	2.67	2.14	68.2			3.7	26.1	70.2	12.41	0.56	0.16	
284.5*	23.9	4.0	4.3	4.1		45.3	1.79	16.03	0.26	1.16	13.47	2.66	1.34	57.3			22.4	26.8	50.8	10.25	0.38	0.14	
332.0*	27.9	3.9	3.9	3.9		69.6	1.63	18.96	0.20	0.96	12.15	2.66	1.84	64.8			3.3	33.0	63.8	13.41	0.58	0.11	
340.0*	28.6	4.0	4.0	4.0		61.2	1.62	19.45	0.20	1.00	12.68	2.67	1.73	63.4			5.0	31.6	63.4	13.08	0.56	0.12	
387.0*	32.3	6.4	7.3	6.9		68.8	1.57	22.08	0.31	0.93	11.78	2.66	1.93	65.8			4.3	29.3	66.4	12.58	0.51	0.14	
435.5*	36.3	4.0	4.9	4.4		42.1	1.69	25.36	0.17	1.19	15.05	2.67	1.30	56.5			17.3	38.3	44.4	10.08	0.44	0.13	
493.5*	40.7	5.6	7.4	6.5		51.3	1.73	29.51	0.22	1.14	14.47	2.68	1.40	58.4			17.7	25.4	57.0	13.49	0.37	0.06	
501.5*	41.3	9.5	14.1	11.8		50.3	1.63	30.00	0.39	1.08	13.69	2.66	1.52	60.3			5.4	35.4	59.2	11.91	0.40	0.07	
547.0*	44.9	6.2	7.1	6.7		62.8	1.64	32.86	0.20	1.01	12.78	2.66	1.70	63.0			3.1	28.7	68.2	8.00	0.40	0.04	

¹⁾: Altersangaben nach Vogelsang [1990]; *: korrigierte Teufe

Tab. A.1: Sedimentphysikalische und sedimentologische Ergebnisse

		Scherfestigkeit				nat. Feucht- Sedim.-		Trocken- Akku.-		spez. Poren- Poro-		Fließ- Roll-		Plasti- Sensi-								
Teufe	Alter ¹⁾	min.	max.	0	hom.	Wasser- raum- auf-	raum- last	c _u /Po	gew.	rate	Gew. ziffer	sität	grenze	grenze	zitäts- tiv-	Sand	Silt	Ton	CaCO ₃	C _{org}	S	
(cm)	(*10 ³ J)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(%)	(g/cm ³)		(g/cm ³)	g		(g/cm ³)	(%)	(%H ₂ O)	(%H ₂ O)	index	tät					
										cm ² *10 ³ J							(Gew.%)	(Gew.%)	(Gew.%)	(Gew.%)	(Gew.%)	(Gew.%)
23074-1, KAL-Sedimentprofil (Fortsetzung)																						
586.5*	48.1	6.0	6.6	6.3		56.0	1.66	35.42	0.18	1.06	13.44	2.68	1.59	61.3			6.0	32.0	62.0	10.25	0.55	0.07
635.0*	51.9	9.2	9.5	9.3		64.3	1.62	38.37	0.24	0.99	12.51	2.66	1.76	63.7			2.3	42.9	54.8	9.58	0.43	0.07
682.5*	57.1	7.6	8.1	7.8		62.3	1.68	41.53	0.19	1.03	1.51	2.67	1.64	62.2			4.1	34.5	61.4	9.25	0.33	0.04
691.5*	63.3	7.6	9.1	8.3		56.7	1.58	42.07	0.20	1.01		2.67	1.72	63.2			3.0	40.2	56.8	9.25	0.55	0.06

¹⁾: Altersangaben nach Vogelsang [1990]; *: korrigierte Teufe